

EXPERTNUC



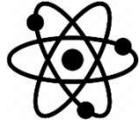
ENERGIE NUCLEAIRE



Comprendre les aspects de l'énergie nucléaire et de la filière nucléaire (et activités de REEL dans la filière)

PARTIE 3

Edition révisée pour tenir compte de l'actualité au 03/09/2024



EXPERTNUC

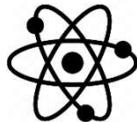


Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

5 - SURETE NUCLEAIRE & CONTEXTE REGLEMENTAIRE

- **Sureté et Culture Sureté**
- **Autorité de Sureté** (ASN & IRSN – CCSM, NRC)
- **Codes & Règles de Construction** (RCC - ASME - KTA)
- **Assurance Qualité**
- **Gestion des Accidents Graves**
- **Prévention FME**
- **Cyber-Sécurité**
- **Risque Radioactif & Radioprotection**
- **Manutention dans l'environnement nucléaire**
- **Accidents Nucléaires**
 - **Three Mile Island** (USA)
 - **D. Besse** (USA)
 - **Tchernobyl** (Union Soviétique)
 - **Fukushima** (Japon)
 - **Zaporozhe** (Ukraine) : une centrale dans la guerre



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

SURETE

La **sûreté nucléaire** repose sur l'ensemble des dispositions techniques, humaines et organisationnelles mises en œuvre à toutes les étapes de la vie d'une installation nucléaire. Elle a pour principe absolu de protéger, en toutes circonstances, la population et l'environnement contre une éventuelle dispersion de produits radioactifs.

C'est la première préoccupation des ingénieurs et des autorités. Il faut veiller à la sûreté des installations et leurs relations avec l'environnement face à l'opinion publique.

Méthode de Défense En Profondeur (DEP)

Relation avec l'environnement : la genèse = Risque d'explosion et contamination par des produits hautement radioactifs

Si l'explosion nucléaire appartient au domaine du mythe, les produits radioactifs accumulés dans le cœur par le fonctionnement normal d'un réacteur représentent un danger potentiel important s'ils venaient à se répandre à l'extérieur

Principale priorité de la sûreté : En aucune circonstance raisonnablement envisageable les produits radioactifs ne peuvent fuir et contaminer l'environnement et le public. C'est le but à atteindre qui engendre le principe de l'interposition de Barrières successives pour le réacteur. C'est le principe de la **DEP**.

Hors du réacteur, à toutes les étapes du cycle du combustible où une concentration de matières fissiles risque de devenir significative et donc critique, il y a le souci permanent de ne pas laisser se constituer de volumes critiques où une réaction en chaîne se développerait sans contrôle (cas de la chute d'un combustible sur d'autres combustibles – perte d'eau dans la piscine de désactivation, ...). **Eviter une fusion du combustible dans le cœur et dans la piscine BK.**

Contrôler la réaction en chaîne - Principe de fonctionnement :

- Barres de contrôles
- Poison consommable
- Adjonction d'acide borique concentré



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

SURETE

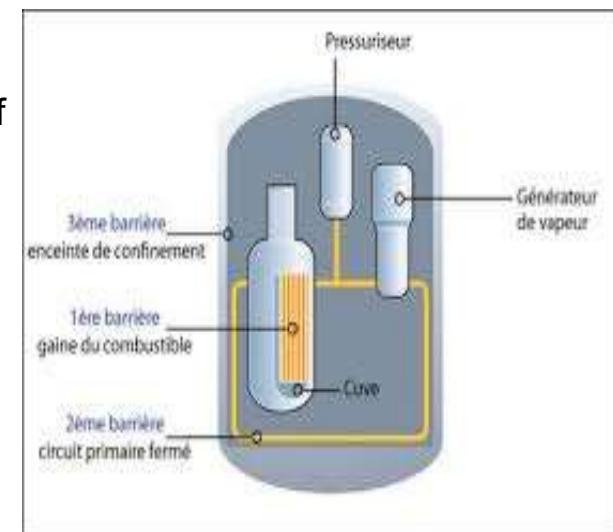
Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

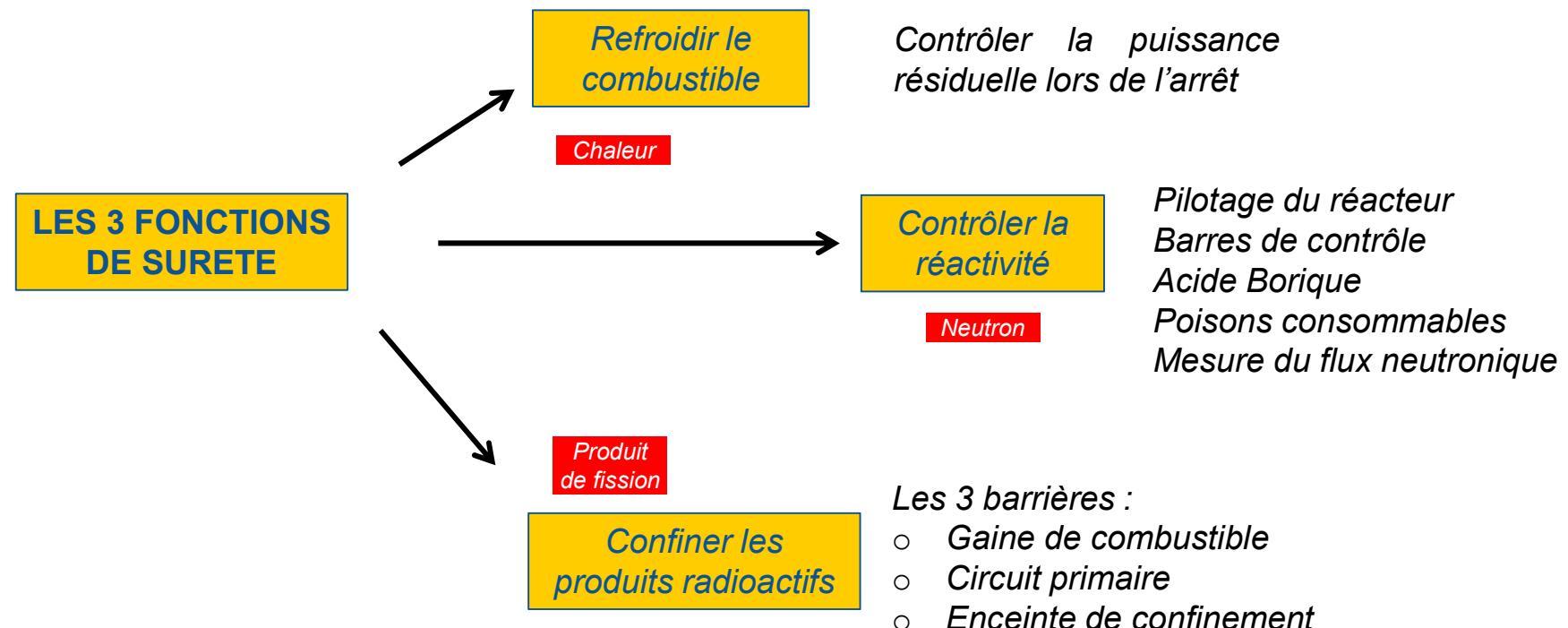
CONCEPT DE BARRIERES SUCCESSIVES DE CONFINEMENT

3 barrières dont une au moins doit rester étanche dans toutes les circonstances raisonnablement envisageables

- **Niveau combustible :** La **Gaine** en Zirconium du crayon qui contient les palettes d'oxydes d'Uranium (cette gaine fait l'objet de nombreux essais de résistance lors de cyclages thermiques/pression)
- **Niveau Chaudière :** La **Cuve** qui doit permettre de contenir un cœur fondu et si il y a fuite avec fissure de la cuve, le cœur fondu (ou Corium) peut être contenu dans un dispositif spécifique (« *Core Catcher* »).
 - Le **Circuit Primaire fermé** (enveloppe des tuyauteries, des Tubes GV, du Pressuriseur, des Pompes primaires)
 - Circuits de refroidissement du cœur
- **Niveau Bâtiment Réacteur:** L'**enceinte de confinement** (double) qui permet d'éviter des fuites radioactives à l'extérieur.
 - Circuit d'aspersion d'eau froide
 - **Recombinateurs d'Hydrogène** pour éviter tout mélange critique avec l'oxygène.



La Maitrise de la réaction nucléaire



ENERGIE NUCLEAIRE

SURETE

CONCEPT D'ACCIDENT MAXIMUM VRAISAMBLABLE

Toutes les situations imaginables et leurs cumules ne sont pas vraisemblables. Etablissement d'une liste d'accidents sévères avec leurs parades (une des barrières doit toujours rester efficace)

L'ACCIDENT DE PERTE DE REFROIDISSEMENT

Arrêt d'urgence = La **Puissance Résiduelle** doit être évacuée (cette puissance résiduelle représente 10% de la puissance initiale, 1 sec après l'arrêt)

L'APPROCHE PROBABILISTE & DETERMINISTE

A partir d'une situation accidentelle donnée on définit un arbre de défaillance des situations successives avec les éventualités possibles et leurs probabilités ainsi que l'évaluation de leurs conséquences.

Attention : L'enchaînement des situations conduirait à un nombre de branches quasi infini. Il faut faire un choix pour rester dans le possible

Les accidents sont très rares et on ne dispose pas d'observations

Avec la **démarche probabiliste** on ne peut pas en attendre une règle de conduite rigoureuse et il faut toujours s'appuyer sur une analyse déterministe.

Analyse déterministe :

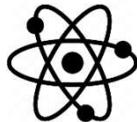
Approche rationnelle et rigoureuse de la sûreté à partir d'une analyse logique des fonctions et des systèmes de sécurité et évaluation quantitative des probabilités d'occurrence d'incidents.

Le pire accident envisageable : Fusion complète du cœur et ses conséquences (pénétration dans le sol du corium – Rejets radioactifs).

ACCIDENT DE MODE COMMUN

Incident de « **Mode Commun** » qui peut impliquer plusieurs systèmes de sûreté que l'on croyait indépendants.

Pour prévenir la perte d'une fonction vitale pour la sûreté, on crée une redondance : on obtient la fonction par deux systèmes complètement indépendants (indépendance par différenciation de matériel – par isolement des systèmes – différentes causes)



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

SURETE

PRISE EN COMPTE DU SEISME

On n'implante pas une central nucléaire dans une zone à fort risques sismiques. Une étude sismotectonique est conduite avec accumulations des analyses géologiques, les observations des sismographes, le dépouillement des sources d'archives remontant le plus loin possible.

Les effets du séisme sur l'installation dépendent de la distance à l'épicentre du séisme potentiel, de la profondeur du foyer, de la magnitude et de la manière dont les couches géologiques transmettent, filtrent ou réfléchissent les ondes émises.

Hypothèse retenu : Le séisme le plus violent dont la région géologique a été le théâtre qui se produit sous l'installation avec une **intensité doublée** par sécurité. Les efforts correspondant à ce **Séisme Majoré de Sécurité (SMS)** sont pris en compte pour la conception des matériaux intervenant dans la sûreté nucléaire.

En France : L'intensité retenue pour le Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable (**SMHV**) correspond au degré 6 - 6,5 sur l'échelle MSK (12 degrés). Pour le séisme majoré l'intensité est doublé ($SMHV + 1$) et donc devient celle correspondant au degré 7 - 7,5. *Attention c'est une échelle exponentielle.* **Post Fukushima : Séisme Noyau Dur (SDN) = $1,5 \times SMS$**

On associe au degré retenu un spectre d'accélérations qui donnera la valeur des efforts dus au séisme en fonction de la fréquence des vibrations transmises au niveau du sol.

Séisme le plus important en France

1909 - Provence (Lambesc)
Magnitude M : 6,2
46 morts 5 villages détruits

Séisme d'Inspection – Seuil :

0,05g en H (ou gV = $2/3$ gH)

Au-delà : Arrêter et inspecter

Dernier Séisme connue près d'une centrale nucléaire :

le 11/11/2019 au **Teil** en Ardèche (10km à l'Ouest de Montélimar et à 10 km de la centrale nucléaire de Cruas avec 4 réacteurs 900 MW construits sur appuis parasismiques)

Magnitude M : 5,1 à 5,4 (4,5 pour les ondes de surface)

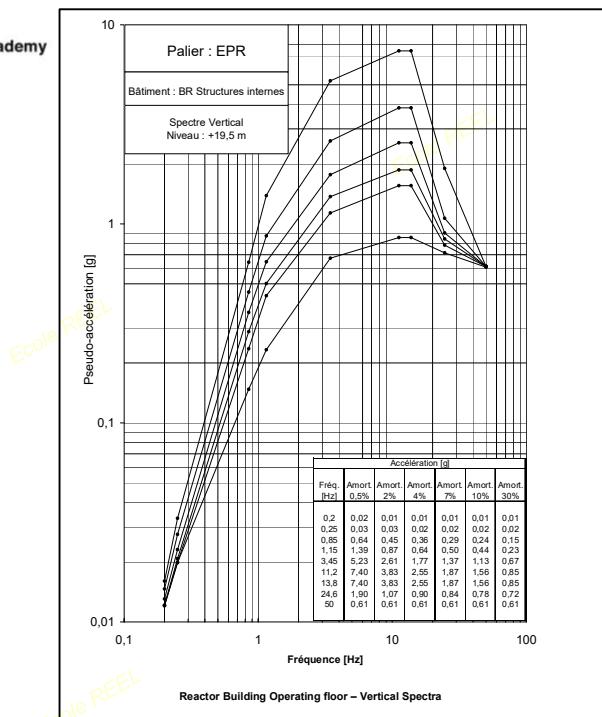
Profondeur : 0,5 à 1,5 km (séisme superficiel)

Valeur d'accélération enregistrée : **0,0455 g** (conception de Cruas : SMS à 0,22g)

Secousse très ressentie – Nombreuses maisons fissurées – 4 blessés.

ENERGIE NUCLEAIRE

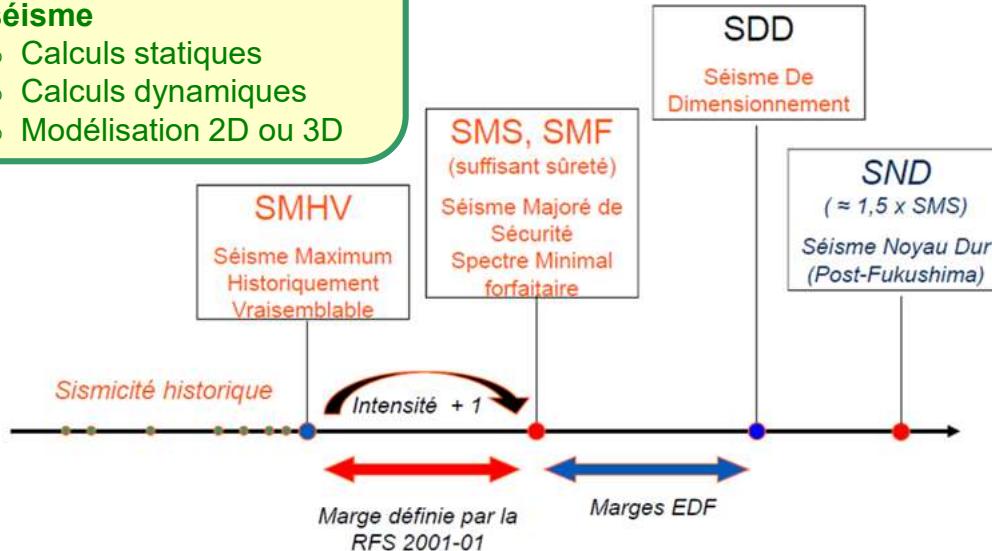
PRISE EN COMPTE du SEISME



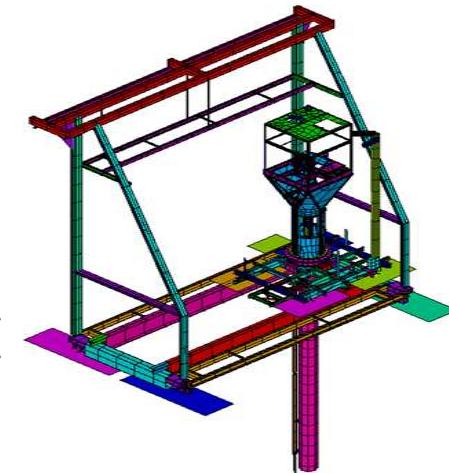
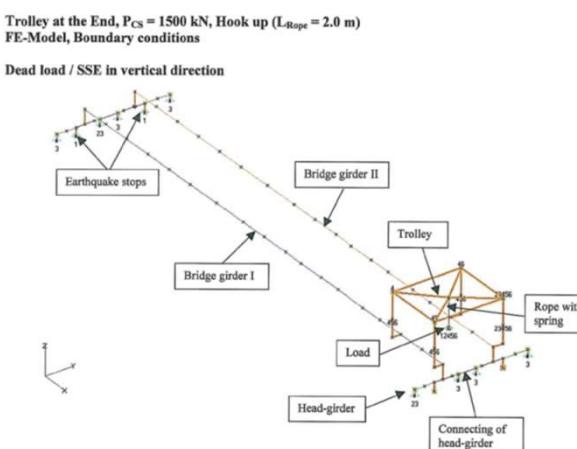
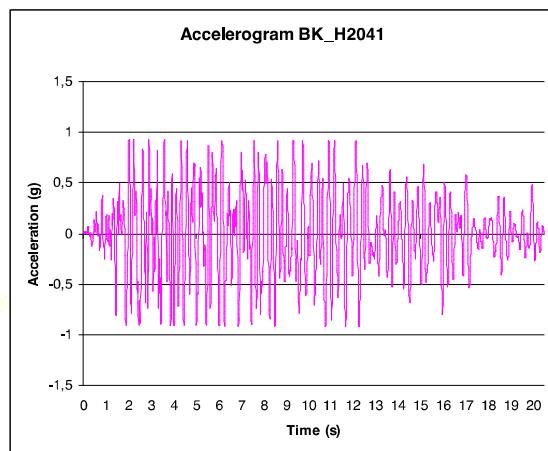
PLUSIEURS NIVEAUX DE ROUSTESSE AU SÉISME JUSQU'AUX SÉISME EXTRÊMES (SND)

Calculs de tenue au séisme

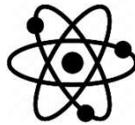
- Calculs statiques
- Calculs dynamiques
- Modélisation 2D ou 3D



Spectres - Histogrammes



Modélisation Eléments Finis



EXPERTNUC



INNONDATION & AUTRES ALEAS NATURELS

SURETE

REX des accidents du **Blayais** (une montée des eaux exceptionnelle. Conjonction d'un niveau élevé du fleuve – Grande Marée – Vent violent) et de **Fukushima** (Tsunami exceptionnel avec une vague de près de 15m de haut). La centrale du Blayais est une centrale de bord de mer.

Risque de rupture d'une retenue d'eau (barrage) en amont de la central. Elévation du niveau de mer.

Parades : Digues - Portes étanches – Batardeaux - Positionnement des diesels de secours -

Dans le cadre du Noyau Dur : Nouvelle donnée = 1,3 la crue du référentiel en vigueur.

Pride en compte des conditions climatiques : Canicules (2003 &2009) - grands froids – Vents/Tornades

PRISE EN COMPTE DU RISQUE TERRORISTE

Enceinte de confinement résistant à la **chute d'un avion** (les moteurs sont des projectiles). Voir la note **N°142 « Protection contre les risques externes »** de l'ASN.

Attaque à la roquette (5) du BR de Superphénix le 18/01/1982 par un écologiste Suisse. Dégâts mineurs

Protection contre les cyber-attaques. Le principe « *airgap* » est-il sûr ?

Protections contre toute intrusion dans les installations et en particulier les CNPE (C'est d'actualité avec les actions de Greenpeace au sujet des piscines). Surveillance militaire.

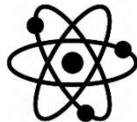
La sécurité des **transports nucléaires**. 15t de Pu traverse la France chaque année, de La Hague à Marcoule (usine MELOX)

La sécurité de nombreux laboratoires qui utilisent de l'Uranium Hautement Enrichi (**UHE**)

La **Cyber-Sécurité** (protection contre les cyber attaques) est un enjeu fort (voir la page dédiée)

LE FACTEUR HUMAIN (rôle joué par l'homme et les erreurs qu'il peut commettre)

Prise en compte du Retour d'Expérience d'exploitation, de l'état d'esprit et de la qualification des exploitants, l'aide à la conduite et la mise à disposition d'informations et de consignes claires pour l'opérateur, la nécessité d'une organisation et d'une coordination efficace des autorités (AS et gouvernement) en cas d'accident, la réflexion sur les accidents pris en compte dans les études de sûreté. Ce facteur a été primordial dans les accidents majeurs.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

SURETE (Le changement climatique)

ALEAS NATURELS et LES ENJEUX DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

- Enjeux de sûreté
- Enjeux de production d'électricité (en particulier le cas de la source froide en rivière)

Effets du changement climatique : Approches statistiques complétées de plus en plus par des modélisations numériques des événements climatiques. La seule approche statistique ne garantie pas la détermination des cas extrêmes.

Réchauffement climatique : des canicules plus fréquentes avec modifications du débit des fleuves

Il faut anticiper et pouvoir faire les adaptations nécessaires lors des décennales (en particulier le prolongement au-delà des 40 ans). Partager les Retour d'Expérience sur les conséquences des aléas naturels est essentiel. Voir **WENRA**

Comment protéger les installations et éviter une sur-catastrophe (catastrophe naturelle + catastrophe sur l'installation nucléaire elle-même) liée au cumul des agressions extérieures

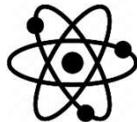
Adaptation des équipes pour gérer les nouvelles situations et assurer le contrôle des installations (il faut anticiper). Les effets sur l'environnement naturel et humain de la centrale est à considérer.

Mise à jour des normales climatiques et notamment les extrêmes :

- Une hausse de 0,42 °C de la température moyenne pour la prochaine décennie
- Été 2019 : +46 °C et gros écarts avec les écarts précédents (plus de 5 °C). Un record.
- Octobre 2020 : Précipitations records dans les Alpes Maritimes .

Pour construire un EPR (1700 MWe) sur site rivière, il faudra s'adapter au changement climatique mais cela reste dans le possible. Suivi des cas de Chooz et Civaux (1450 MWe)

10



EXPERTNUC

ENERGIE NUCLEAIRE

SURETE

SURETE et EXPLOITATION



Academy

Un parc Français standardisé

Même concept et mêmes principes technologiques = Retour d'EXPérience important et sûreté accrue.
Les méthodes **DEP** (Défense En Profondeur) et **APE** (Approche Par Etat) s'appliquent.

UN PRINCIPE : Une réévaluation **décennale** qui conditionne la poursuite de l'exploitation (initialement conçue pour 40 ans, extension possible à 50 ans puis 60 ans)

La sûreté d'une installation est formalisée dans un "**Référentiel Sûreté**" constitué de l'ensemble des règles et procédures qui encadrent son fonctionnement. Ce référentiel est redéfini et enrichi tous les 10 ans. Si l'installation est conforme aux attentes de sûreté, l'exploitation pour un autre **cycle de 10 ans** est autorisée avec éventuellement des réserves qui doivent être levées dans un calendrier prévu.

5 leviers majeurs pour garantir une exploitation toujours plus sûre et performante dans la durée

□ **Des visites décennales** ou le **check-up complet de l'installation avec :**

- Solidité et étanchéité de la cuve (inspection en profondeur de la cuve)
- Etanchéité et résistance de la paroi béton du BR (épreuve d'enceinte)
- Etanchéité et résistance du circuit primaire vérifiée lors de l'épreuve hydraulique (1,3 fois la pression nominale)

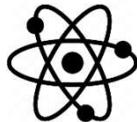
□ **Modification** des installations et des matériels. Traitement des obsolescences

□ **Maîtrise et anticipation de l'usure des matériels** (Remplacement des composants : Générateur de Vapeur & Couvercle de cuve - Traitement des obsolescences)

□ **Maintien et renouvellement des compétences**

□ **Adopter les meilleures connaissances techniques et technologiques**

Un objectif pour EDF : Poursuivre l'exploitation du parc au-delà des 40 ans prévus à l'origine et ce pour une durée de 50/60 ans. L'EPR de Génération 3, est déjà conçu pour une durée de vie de 60 ans



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

SURETE - DEP

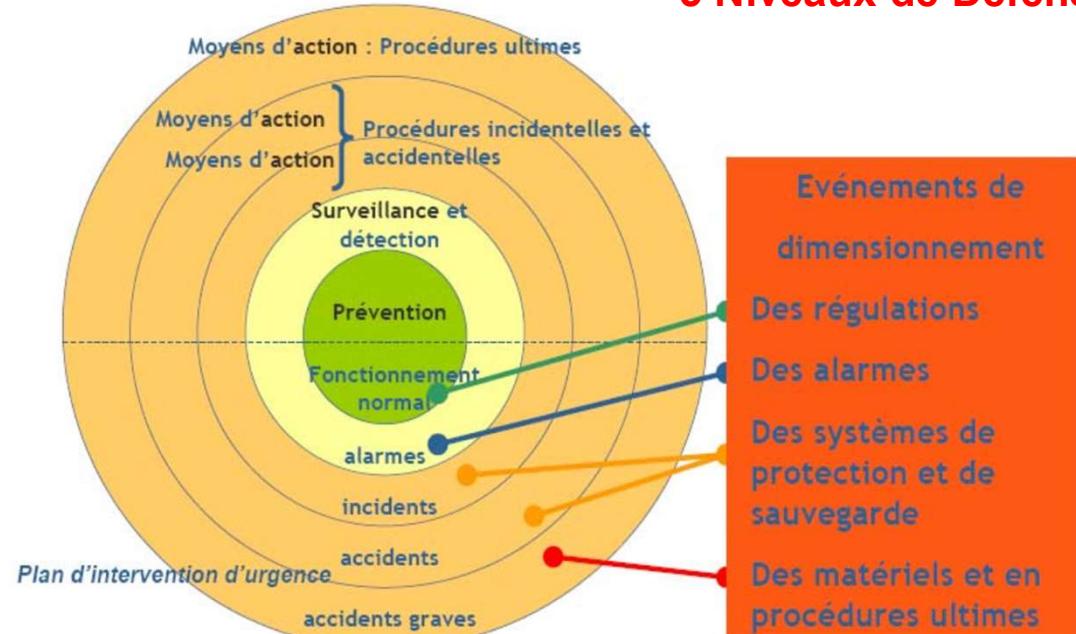
La méthode (**DEP**, Défense En Profondeur) consiste à prendre en compte, de façon systématique, les défaillances techniques, humaines ou organisationnelles et à s'en prémunir par des lignes de défense successives : **3 niveaux de sûreté** :

- **Qualité** de conception, de réalisation et d'exploitation
- **Systèmes de protection** et de secours pour ramener l'installation en fonctionnement normal
- **Intervention des systèmes de sauvegarde** du confinement des produits radioactifs en cas d'accident grave

Pour parer à chacun des **accidents de références** identifiés, **cinq (5) lignes de défense** (*Dispositions techniques, humaines, organisationnelles*) sont définies :

- La **qualité** retenue pour la conception et la réalisation des installations
- Le **niveau de surveillance** en exploitation
- Le nombre, la qualité et la puissance des **systèmes de secours**
- Les **systèmes de sauvegarde**
- Les **plans d'urgence**

5 Niveaux de Défense



LES 3 AXES DE LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE – CULTURE SÛRETE

La sûreté dépend de l'action des hommes : "Culture de Sûreté"

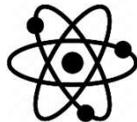
La Culture de Sûreté, clé de voûte de la Sûreté Nucléaire.

« La Culture de Sûreté ne se décrète pas. Il faut la construire et l'entretenir au quotidien. La prise de conscience et l'acceptation des responsabilités individuelles sont essentielles au développement de cette Culture afin d'assurer la Sûreté Nucléaire »

La sûreté dépend de l'efficacité de l'Organisation du travail

(Système de Management de la Qualité)

La sûreté dépend de la **Robustesse** et de **Fiabilité** des matériels



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

CULTURE SURETE

CULTURE SURETE : LES TROIS PILIERS

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

Responsabilité personnelle (3)

Attitude interrogative (4)

Communication de Sûreté (4)

...le REEL



Référentiel WANO/INPO

Apprentissage Continu (4)

Responsabilisation du Leadership (8)

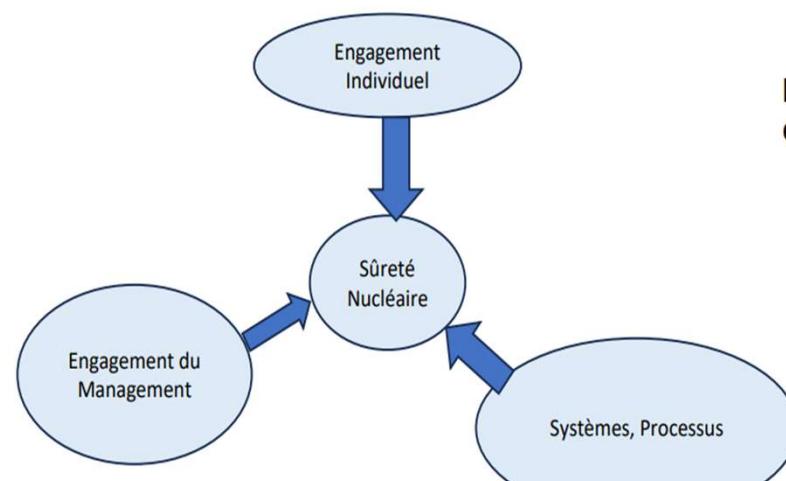
Prise de décision (3)

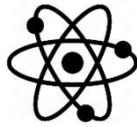
Environnement de travail respectueux (4)

Identification et résolution de problèmes (4)

Environnement permettant de remonter ses préoccupations (2)

Processus de réalisation (4)





EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

CULTURE SURETE

Ecole REEL

03/09/2024 JY PERON

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

CULTURE SURETE : ENGAGEMENT DES INDIVIDUS

ATTITUDE INTERROGATIVE

- Ai-je bien compris la tâche à accomplir ?
- Quelles sont mes responsabilités ?
- Quel rapport avec la Sûreté ?
- Ai-je les compétences nécessaires pour m'en acquitter ?
- Quelles sont les responsabilités des autres ?
- Y a t-il des circonstances inhabituelles ?
- Ai-je besoin d'aide ?
- Qu'est ce qui peut mal tourner ?
- Quelles pourraient être les conséquences d'une défaillance ou d'une erreur ?
- Que faudrait-il faire pour prévenir les défaillances ?
- Que dois-je faire d'il y a une défaillance ?

EEL

UNE DEMARCHE RIGOUREUSE ET PRUDENTE

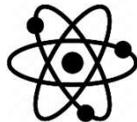
- comprendre les procédures de travail,
- se conformer à ces procédures,
- être prêt à parer à toute éventualité,
- prendre le temps de réfléchir si un problème se pose,
- solliciter une aide si nécessaire,
- prêter attention à l'ordre, à la ponctualité et à la gestion interne,
- procéder avec un soin délibéré,
- s'abstenir de sauter les étapes.

e REEL

COMMUNICATION

- obtenir des autres des informations utiles,
- transmettre des informations aux autres,
- rendre compte des résultats des travaux, tant courants qu'inhabituels et les documenter,
- proposer de nouvelles initiatives en matière de sûreté.

je REEL



EXPERTNUC

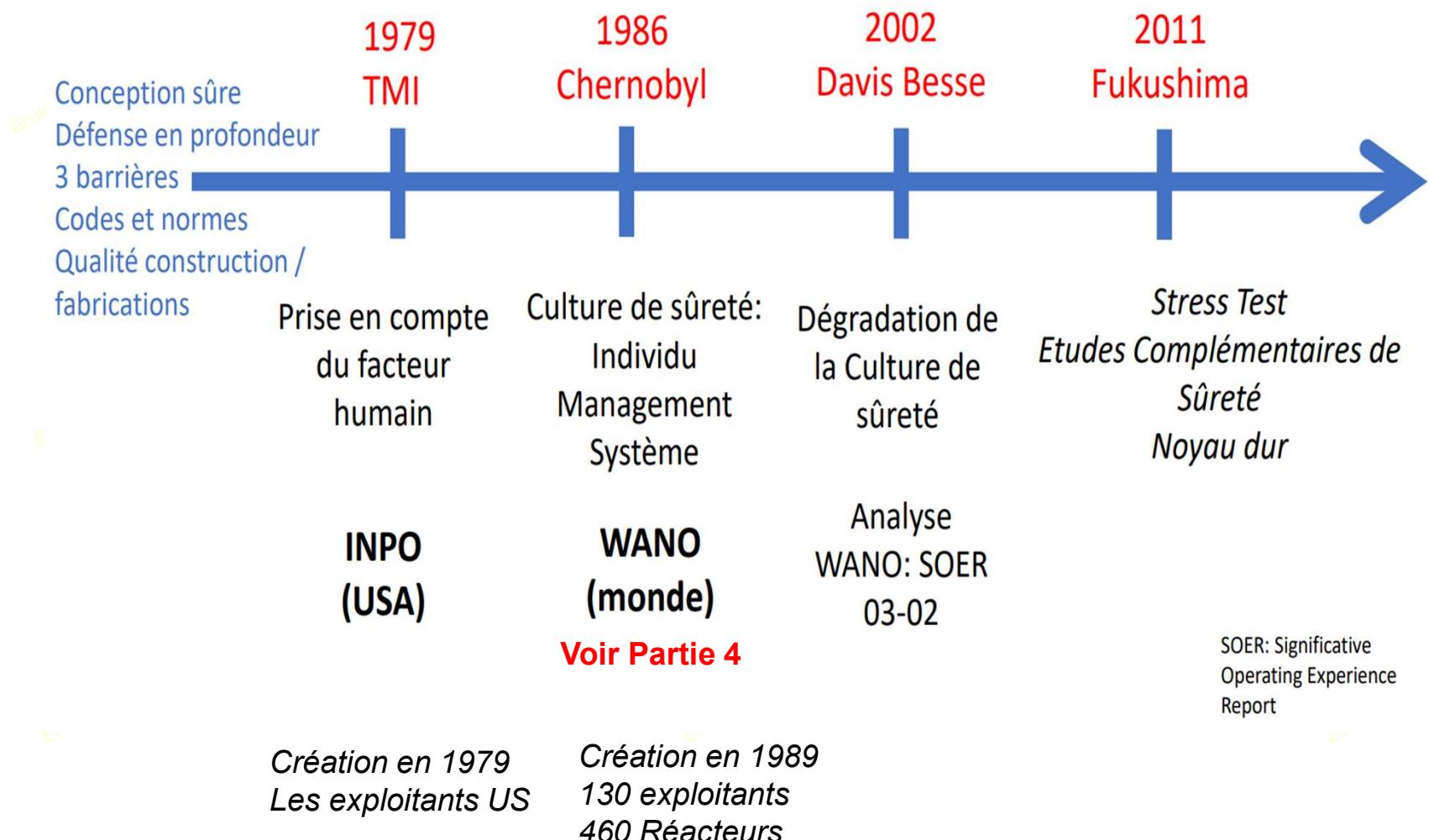


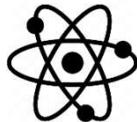
Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

CULTURE SURETE

CULTURE SURETE : RETOUR D'EXPERIENCE DES ACCIDENTS





EXPERTNUC



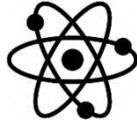
La poursuite d'exploitation et la fermeture éventuelle des réacteurs dépendront en fait essentiellement de trois facteurs, liés mais indépendants :

- **la trajectoire énergétique** : le dimensionnement de la capacité nucléaire nécessaire pour assurer la production à différents horizons de temps, doit s'ajuster aux évolutions prévues sur la consommation d'électricité, sur le développement des énergies renouvelables et sur le recours aux centrales thermiques et/ou aux importations d'électricité ;
- **Les enjeux de sûreté** : alors que l'exploitation des réacteurs suppose leur conformité aux exigences de sûreté, l'évolution de ces exigences et de l'état des réacteurs vieillissants pour y répondre peut conduire à des écarts susceptibles d'entraîner leur arrêt définitif ;
- **Les coûts de production** : l'évolution des coûts comptables de production des réacteurs nucléaires, qui tient compte de l'amortissement des charges passées, des coûts courants d'investissement, de maintenance, de combustible et de fonctionnement et des provisions pour charges futures, déterminera le seuil de rentabilité de leur exploitation, en fonction de l'évolution des prix du marché.

A ces trois facteurs, il faut aussi ajouter **l'aspect politique**. On le voit aujourd'hui en France avec la fermeture de **Fessenheim** et la réduction initialement planifiée de la part du nucléaire dans la production d'électricité (**50 % en 2035** si c'est possible). Pour l'instant abandonnée.

La décision de fermer le surgénérateur Creys-Malville fut une décision politique (alliance socialiste et vert) alors que la France disposait d'une avance technologique certaine sur les surgénérateurs.

A contrario, la politique peut encourager pour des raisons stratégiques et d'indépendance nationale, une croissance de la part du nucléaire (ce fut le cas en France en 1973 et c'est le cas en 2022). La **question environnementale** a aussi un impact grandissant. Le Nucléaire est une énergie bas carbone



EXPERTNUC



REEL

Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

SURETE

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

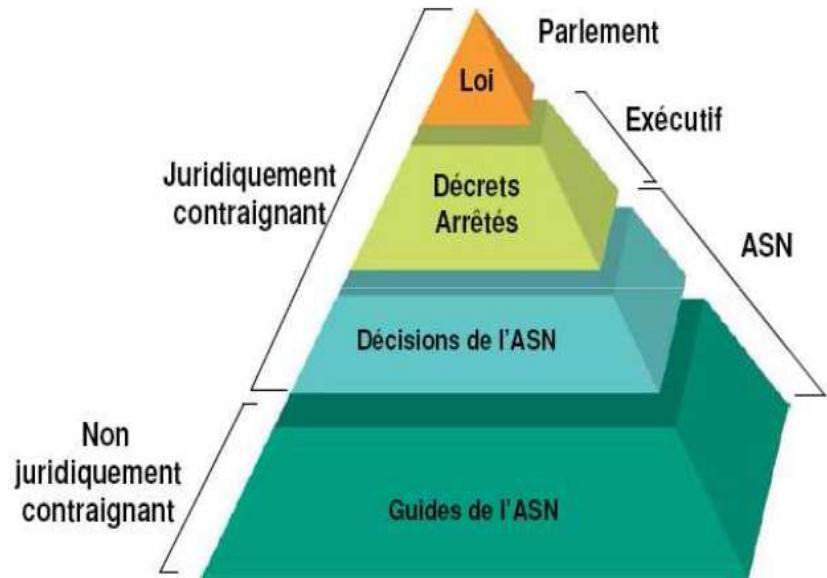
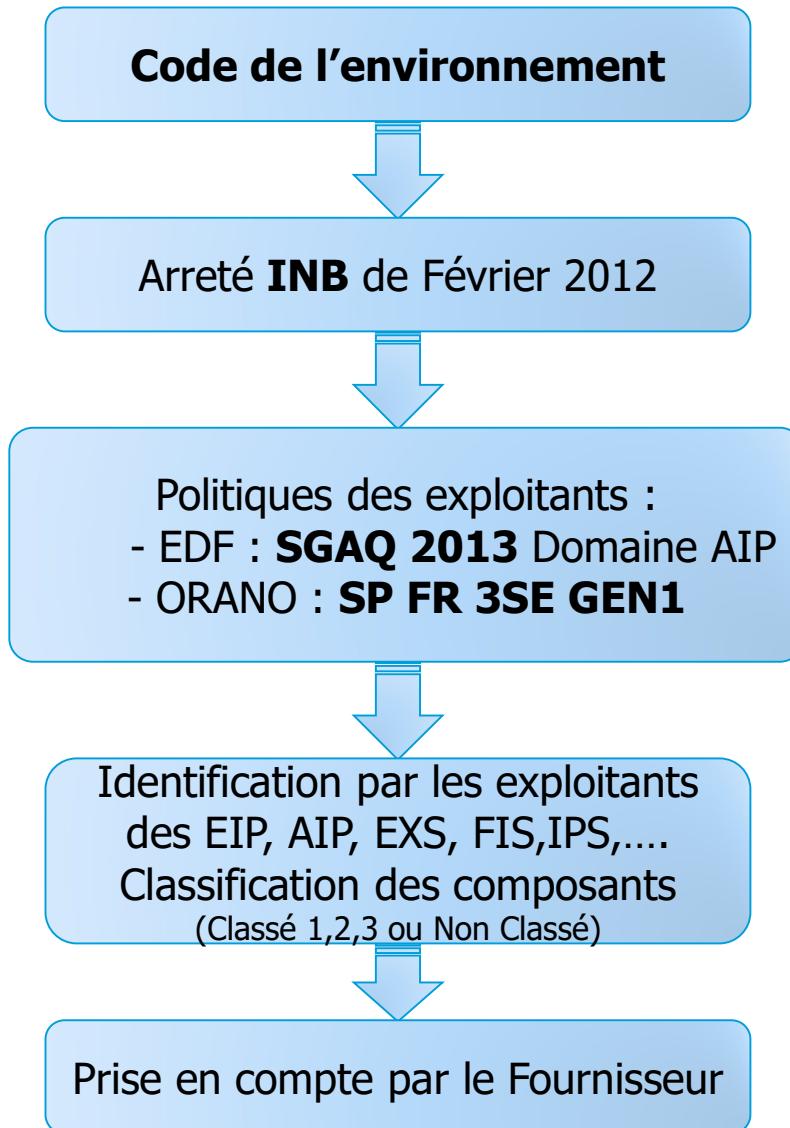
La sûreté désigne l'ensemble des moyens et dispositions mis en œuvre par l'exploitant pour prévenir les accidents et, s'il s'en produisait, en maîtriser et en limiter les conséquences. La Défense En Profondeur est un principe majeur de la sûreté ; elle repose sur un ensemble de moyens techniques et organisationnels destinés à pallier l'hypothétique défaillance des lignes de défense principales et à être en mesure de faire face à des événements qu'on ne peut a priori pas prévoir.

La sécurité, elle, concerne les actions malveillantes. Elle repose sur de nombreux moyens dont l'essentiel est placé directement sous l'autorité de l'Etat : renseignement, défense aérienne, moyens d'interceptions hors site. Ces actions peuvent avoir des conséquences importantes sur la sûreté des installations

Cette distinction « sûreté – sécurité » entraîne une différence fondamentale :

La sûreté exige le plus haut niveau de transparence (cf. loi sur la TSN) alors que la confidentialité conditionne l'efficacité de la sécurité.

LA REGLEMENTATION



ASN :
Autorité indépendante en charge de la surveillance des acteurs de la filière nucléaire.

EIP : Elément Important pour la Protection
AIP : Activité Importante pour la Protection
EXS : Exigence de Sureté
FIS : Fonction Importante pour la Sûreté
IPS : Important pour la sûreté (équipement)
INB : Installation Nucléaire de Base

ENERGIE NUCLEAIRE

Une Installation Nucléaire de Base (INB) est une dénomination réglementaire française qui définit une installation nucléaire fixe (par opposition à une installation nucléaire mobile, comme un navire à propulsion nucléaire). Ces installations sont relatives à celles basées en France.

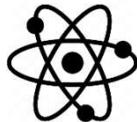
Ces installations doivent être autorisées par décret pris après avis de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) et après enquête publique. Leur conception, construction, exploitation (en fonctionnement et à l'arrêt) et démantèlement sont réglementés. Ce sont :

- Les **réacteurs nucléaires**, à l'exception de ceux qui font partie d'un moyen de transport,
- Les **accélérateurs de particules**,
- Les usines de préparation, de fabrication ou de transformation de substances radioactives (La Hague, Melox, GB2, laboratoires à Marcoule, Cadarache, Saclay,...)
- Les installations destinées au stockage, au dépôt ou à l'utilisation de substance radioactives, y compris les déchets.

Les trois derniers types d'installations ne relèvent des INB que lorsque la quantité ou l'activité totale des substances radioactives est supérieure à un seuil fixé.

Une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) est une installation exploitée ou détenue par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peut présenter des dangers ou des nuisances pour la commodité des riverains, la santé, la sécurité, la salubrité publique, l'agriculture, la protection de la nature et de l'environnement, la conservation des sites et des monuments.

Au 31 décembre 2014, environ 500 000 établissements (dont 450 000 installations soumises à déclaration) relèvent de la législation des installations classées.



EXPERTNUC



L'exploitant d'installations **nucléaires civiles** est soumise aux inspections de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) qui assure, en toute indépendance et pour le compte de l'état, le contrôle de la sûreté nucléaire, la radioprotection pour protéger les travailleurs, les riverains et l'environnement des risques liés à l'utilisation de l'énergie nucléaire

La responsabilité première des activités à risques incombe à celui qui les entreprend et qui les exploite.
industriel et futur exploitant est responsable de la sûreté des installations nucléaires qu'il exploite (c'est le cas pour EDF, pour AREVA dans l'AMONT et l'Aval, pour un CHU dans le médical)

Toutes les démarches proposées pour améliorer la sûreté des installations sont systématiquement validées par l'Autorité de Sûreté Nucléaire avant leur mise en œuvre. L'ASN informe le public de ces démarches

L'ASN est une autorité administrative (AAI) rattachée au Programme Budgétaire 181 « Prévention des Risques » du Ministère de l'écologie. Elle gère l'aspect **sûreté du nucléaire civil**. Elle est composée de service centraux et de directions fonctionnelles (réacteur REP, centrales nucléaires, cycle du combustible, transport, radioprotection,...)

- 5 commissaires la dirige avec près de 500 agents
- 3 commissaires (dont le président) sont nommés par le président de la république
- 1 commissaire est nommé par le Sénat
- 1 commissaire est nommé par l'Assemblé nationale

L'ASN s'appuie sur les moyens et compétences techniques de l'**IRSN** (voire ci-après)

Question posée :
Il analyse coût/bénéfices
des mesures de sûreté
ne devrait- elle pas être
inclus dans le mandat de
l'ASN ?



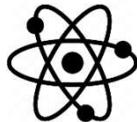
Principales missions :

- Elaboration de la réglementation en donnant son avis au gouvernement sur les décrets et arrêtés ministériels
- Délivrance d'autorisations individuelles dans les domaines des Installations Nucléaires de base (**INB**), du transport de matières radioactives et des activités médicales, industrielles et de recherche
- Vérifier que les Exploitants exercent pleinement leurs responsabilités et obligations en matière de radioprotection ou de sûreté nucléaire
- Informe le public sur tout ce qui touche la sûreté (dans le cadre des enquêtes publiques, des bilans, ...)
- Contrôles :

L'ASN contrôle les **INB** (Installation Nucléaire de Base) civiles depuis leur conception (dossier de sûreté), durant la construction et mise en service, durant l'exploitation jusqu'au démantèlement. L'ASN contrôle les équipement sous pression conçus pour les INB (règlement **ESPN**).
L'ASN Contrôle la gestion des déchets radioactifs ainsi que leur transport L'ASN vérifie le respects des aspects règlementaires.

Les missions de l'ASN ont été étendues en 2006 (Loi TSN sur la Transparence et la Sécurité Nucléaire)

Les Installations Nucléaires militaires relèvent du Délégué à la Sûreté et à la radioprotection pour les activités de Défense (**DSND**)



EXPERTNUC



LES CONTROLES

L'Industrie nucléaire est une des filières la plus contrôlée et surveillée et elle est constamment à se renforcer en matière de sûreté en tenant compte le **REX** (ou Retour d'Expérience)

➤ CONTRÔLE INTERNE (Exploitant) :

- Une Filière Indépendante de Sureté (**FIS**) mis en place en France après l'accident de TMI
- Ingénieur de sûreté (IS) au niveau des CNPE
- L'Inspection Nucléaire (**IN**) rattaché au Directeur de la **DPN** (Division Production Nucléaire)
- L'Inspecteur Général de Sûreté Nucléaire (**IGSN**) rattaché au PDG

➤ CONTRÔLE EXTERNE :

- Par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (**ASN**), indépendante du pouvoir politique
- Par son « bras armé », l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (**IRSN**)

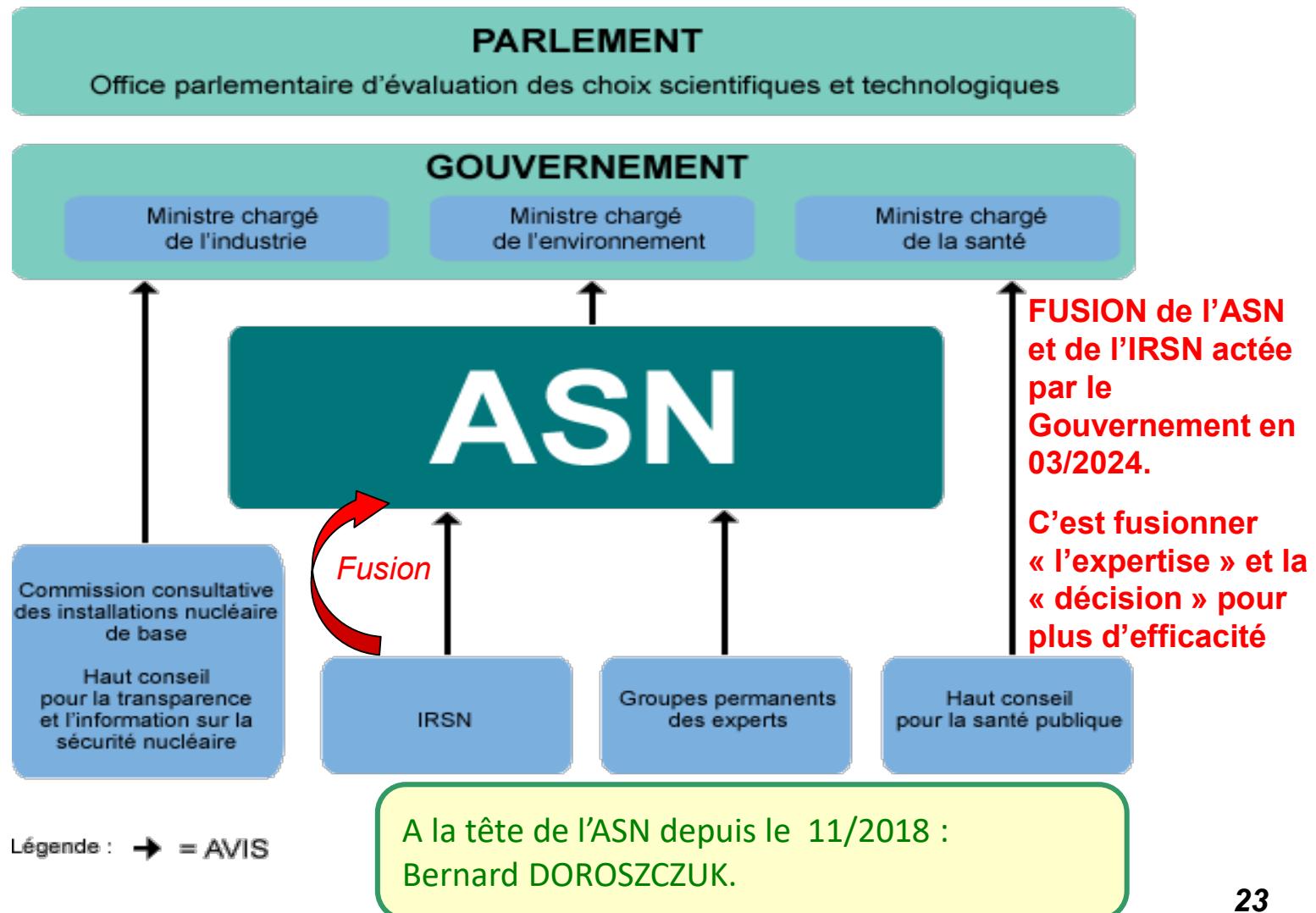
➤ LE RETOUR D'EXPERIENCE (REX) :

- L'INPO** (« *Institute of Nuclear Power Operations* »). Une association d'exploitants mise en place par les Etats Unis après TMI
- WANO** (« *World Association of Nuclear Operators* »), Association mondiale de tous les exploitants mise en place suite à l'accident de Tchernobyl

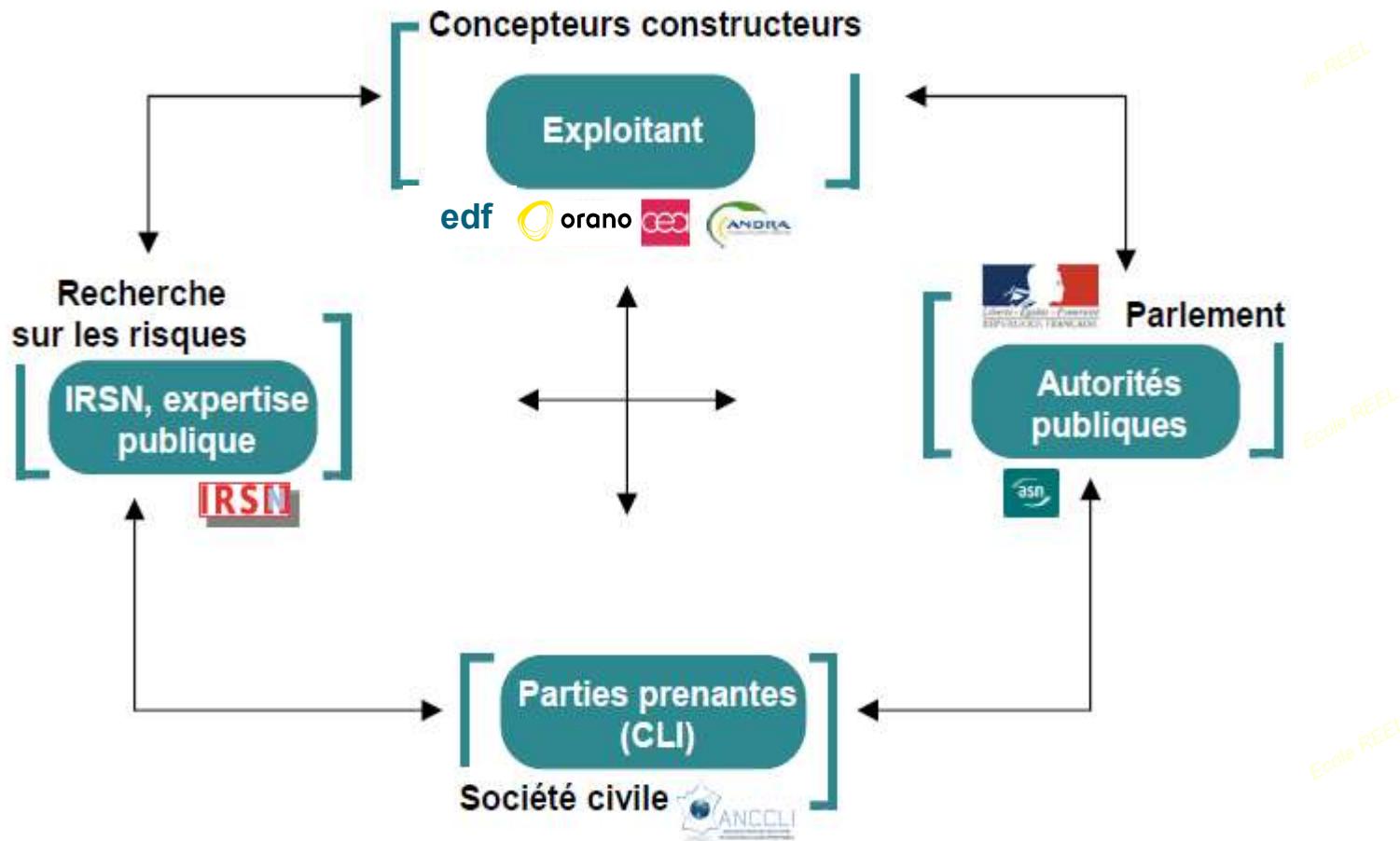
On peut rajouter l'**AIEA** surtout dans le contexte de la Non prolifération. Sites inspectés par les inspecteurs de l'AIEA

Les acteurs du contrôle

Un exploitant
Un réacteur
Un usage



Le système national de sûreté nucléaire





Les Exploitants du nucléaire en France

- Sous contrôle de l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN)



Production et transport d'électricité
58 réacteurs en fonctionnement
10 en démantèlement



Extraction, conversion, enrichissement et recyclage de l'uranium, démantèlement
Amont et aval de la production d'électricité



Recherche et développement



Gestion et stockage des déchets nucléaires



Laboratoires de recherche
Fourniture de produits radiopharmaceutiques, synchrotron de recherche

ENERGIE NUCLEAIRE

**AUTORITE de SURETE
(France – Défense)**

L'autorité de Sureté Nucléaire pour les installations militaires assure le même rôle que l'ASN pour les installations civiles. Les contrôles des autorisations de rejets d'effluent et de prélèvements d'eau relève du délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection (DSND) placé auprès du ministre de la Défense et du ministre chargé de l'industrie. L'ASN et DSND se concertent .



Ecole REI

Les Exploitants du nucléaire en France

► Sous contrôle de l'Autorité de Sûreté Nucléaire Défense (ASND)



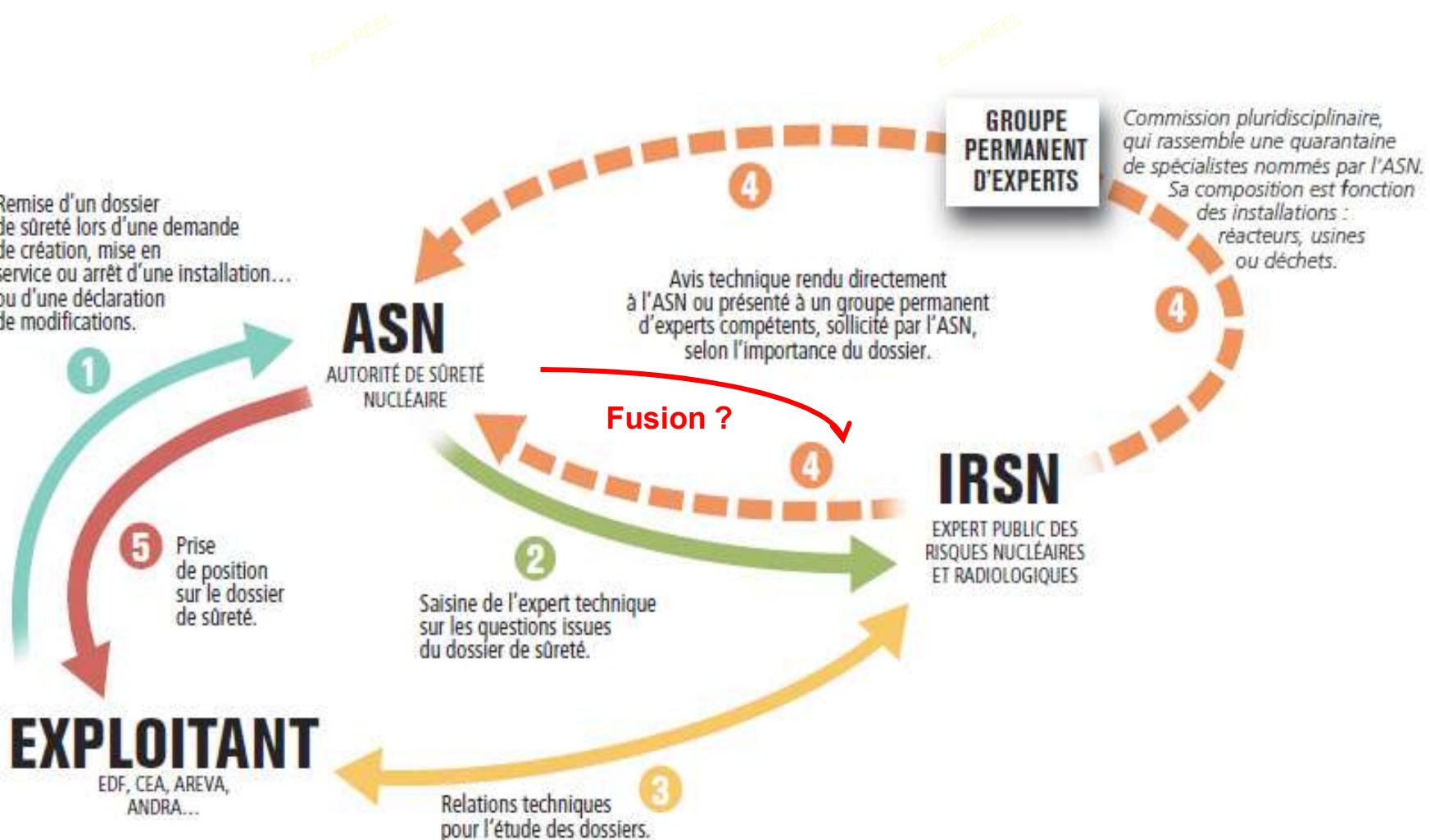
Ecole R'

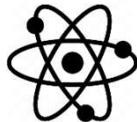


Ecole F



Organisation relative à la Sûreté Nucléaire en France





EXPERTNUC



IRSN

Etablissement Public (création en 2001) à caractère Industriel et Commercial (EPIC) fonctionnant sous un régime de droit privé via la tutelle conjointe des Ministères de la Défense, de l'Environnement, de la Recherche et de la Santé.

L'IRSN est l'expert en matière de recherche et d'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques pour les installations nucléaires civiles et de Défense.

IRSN = fusion de l'IPSN (CEA) et de l'OPRI (ministère de la santé)

L'IRSN évalue, pour le compte de l'ASN, les dossiers de sûreté présentés par les exploitants.

Quelques Autorités de Sûreté étrangères :

- Royaume Uni : **ONR**
- USA : **NRC** (prend en considération l'aspect industriel et économique de toute action)
- Finlande : **STUK** (très fort leadership sur l'exploitant lors de la construction)
- Chine : **NNSA** (Influencée par l'ASN et la NRC mais prend de plus en plus d'assurance avec l'expérience et le programme de construction en cours– Indépendance en question ?)
- Japon : **NRA**. Nouvelle autorité mise en place après Fukushima avec plus de pouvoir et d'indépendance
- Inde : **NRSA**
- Russie : **Rostechnadzor** (dans Rosatom)
- Canada : **CCSM**



stuk

Association des Autorités de Sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest (WENRA), qui regroupe 17 pays européens.

STUK, ONR et NNSA travaillent étroitement avec l'ASN sur les projets EPR.

A partir de Janvier 2025

Schéma de répartition globale proposée par le projet de loi des activités de l'ASN et de l'IRSN



La Commission Canadienne de Sureté Nucléaire (CCSN)

Fondée en 2000 pour remplacer l'ancienne Commission (CCEA) fondée en 1946.

La commission est un « tribunal administratif » indépendant du gouvernement.

Règlemente tous les stades de la vie de chaque centrale nucléaire de la production de combustible (avec le traitement de l'uranium) à la production d'énergie et la gestion des déchets.

Application de la Loi sur la Sûreté et la Réglementation Nucléaires (**LSRN**)

Réglementation :

Installations nucléaires de catégorie **IA** :

- Réacteurs Nucléaires Fission et Fusion

Installations nucléaires de catégorie **IB**

- Usine de fabrication de combustibles (Uranium, Thorium, Plutonium)
- Accélérateurs de particules
- Installations de retraitement de l'Uranium
- Installations d'entreposage de combustibles usés et déchets nucléaires

Documentation de type **REGDOC** dont

REGDOC - 3,4,5 : Examen de conception d'un réacteur de fournisseur préalable à l'autorisation

La CCSN offre aussi un service facultatif pour un examen de conception d'un fournisseur (ECF). L'objectif est de vérifier de manière générale que les attentes et les exigences en matière de réglementation nucléaire canadiennes ainsi que les normes et codes sont respectés.

ECF pour la conception de réacteur terminée

X-energy Réacteur Haute Température refroidi au gaz Xe-100

GE Hitachi Nuclear Energy – BWRX-300

MOLTEX Energy – SSR-W300

SMR, LLC (Holtec Int.) – SMR 160

ARC Clean Energy – ARC 100

USNC – Power Ltd – MRM

Terrestrial Energy Inc. – IMSR 400

CANDU Energy Inc. – EC6

Westinghouse - AP1000

ATMEA – ATMEA 1

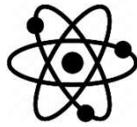
EACL – ACR 1000

Examen en cours :

USNC – Power Ltd MRM Phase 2

ARC Clean Technology Phase 2

Westinghouse –eVinci Phase 2



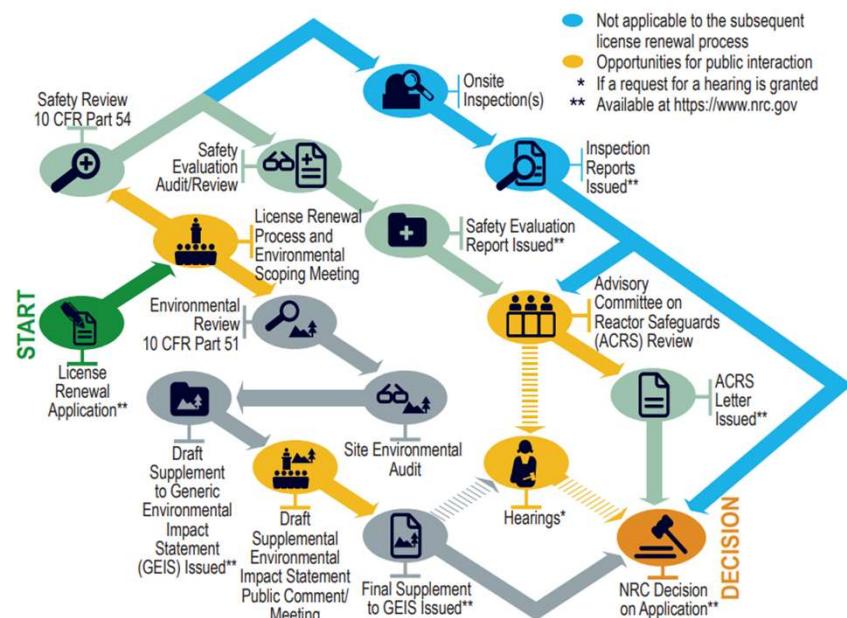
EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

**AUTORITE de SURETE
USA**

Renouvellement des licences



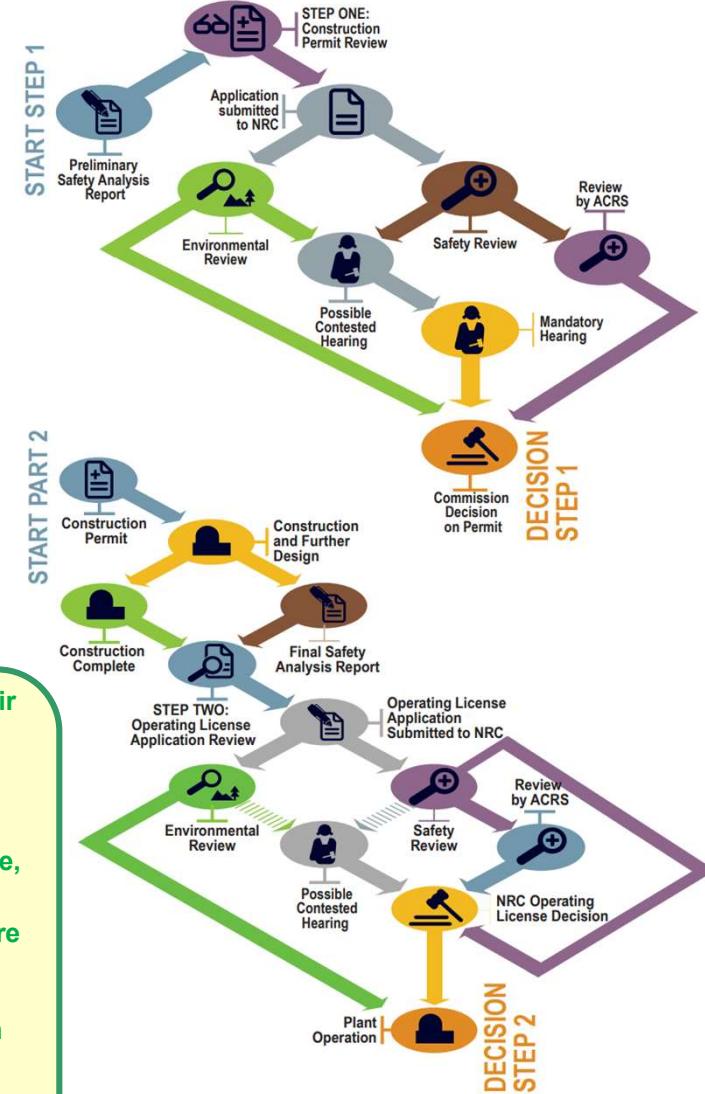
licence Combinée (COL)



Pour concevoir et obtenir une licence, il faut être une Ingénierie (Westinghouse, GE, ...)
Pour construire un réacteur, il faut être exploitant afin d'obtenir la licence d'exploitation

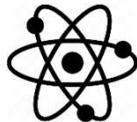
Procédure de licences nouveau réacteur

10 CFR Part 50—Two-Step Licensing Process

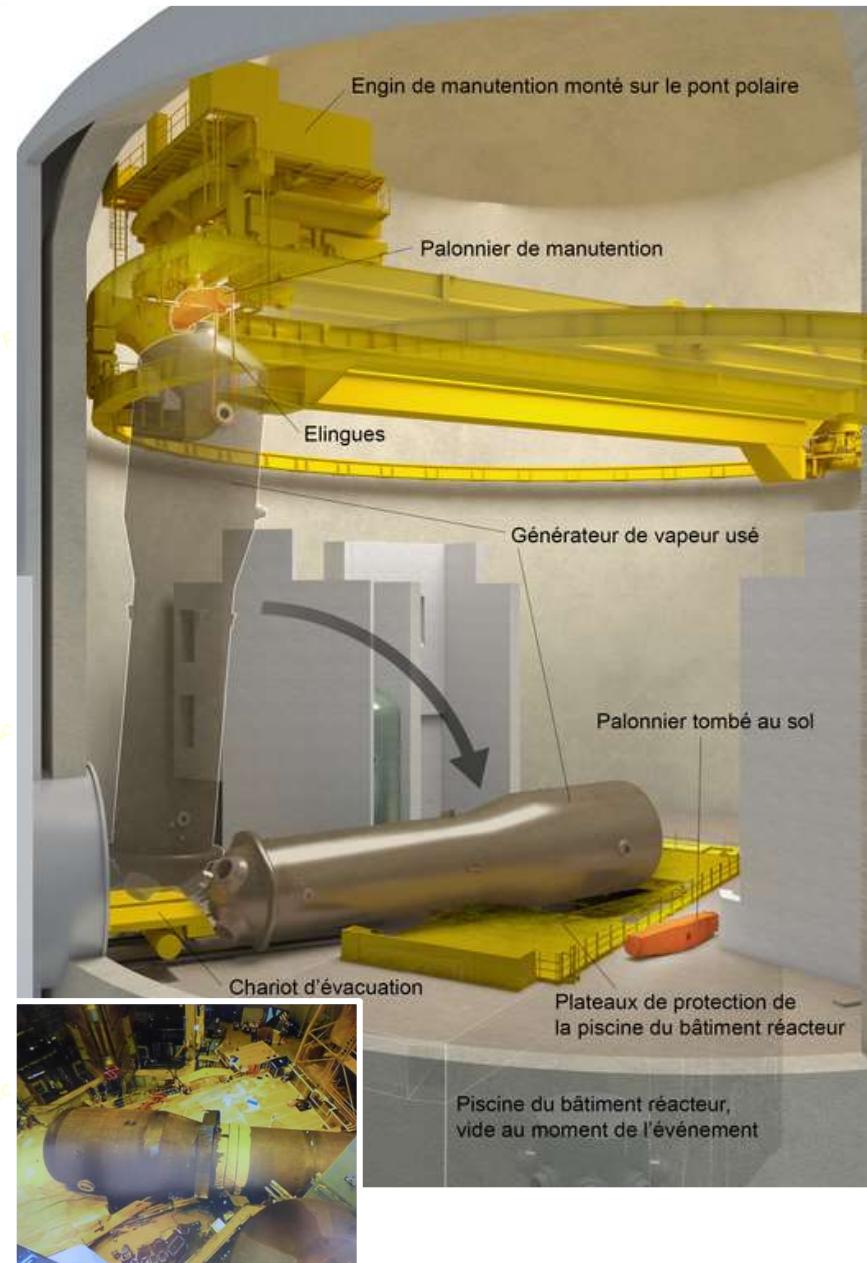


RECENTS DOSSIERS TRAITES PAR L'ASN en France

- Porosité du béton de l'EPR de Flamanville (FA3)
- L'inondation de la centrale du Blayais et les conséquences sur le parc (renforcement des protections)
- L'extension de la durée de vie du parc français = opération de **Grand Carénage**. C'est en cours
- Le **Post Fukushima** sur le parc Français : “**Stress Tests**” et améliorations/modifications. Lancée dès 2011 et pratiquement terminée.
- Cuves et couvercles de l'EPR (FA3 et Taishan). Décision finale (et officielle) en fin 2017. A la vue des dossiers présentés par EDF et AREVA, les cuves sont acceptées avec néanmoins des contrôles supplémentaires et le remplacement du couvercle avant 2025 .
- Acceptation des nouveaux composants (GV) en application des nouvelles règles ESPN..
- Fuite du confinement de Bugey 5 (près de 2 ans d'arrêt). *Au-delà de 2 ans d'arrêt, il faut refaire intégralement le dossier de sûreté de la tranche concernée.*
- Plus récemment :
 - Mise sous observation de la centrale de Belleville (facteur humain)
 - Demande d'arrêt de la centrale de Tricastin (risque inondation lié au risque sismique)
 - Chute du GV de PALUEL 2
 - Les soudures des tuyauteries secondaire vapeur de l'EPR FA3
 - La corrosion sous tension des tuyauteries RIS et RRA sur les 16 réacteurs récents.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

DOSSIER ASN – GV Paluel

ACCIDENT DE PALUEL

Chute d'un GV

Réacteur 2 à l'arrêt depuis 05/2015.

Opération de Remplacement de GV

Lors de la 3^{ème} opération de RGV le 31/03/2016, chute du GV (465t et 22m de haut) qui bascule, en partie sur le plancher béton et en partie sur le platelage de protection de la piscine BR.

La chute du GV entraîne la chute du palonnier.

Système d'accroche du palonnier défectueux (mauvaise conception). Le palonnier gitait déjà lors des deux premières opérations
Responsabilités : AREVA – Eiffage Construction – Bouygues (VSL) - ORYS (en charge de la manutention).

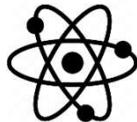
Solution de manutention :

Machine de levage (ORYS) montée sur le pont polaire avec treuil hydraulique de levage (VSL) d'une capacité de 660t et palonnier (AREVA).

Désolidarisation entre la tête d'ancrage du palonnier (sur le treuil hydraulique) et le palonnier lui-même. Problème de mésalignement et de gite.

Voir le rapport détaillé (sur Internet) :

« Analyse de la chute du GV de Paluel 2 13 juin 2018 par aptéis ».



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

DOSSIER ASN – Soudure GV

SOUDURE Générateur de Vapeur :

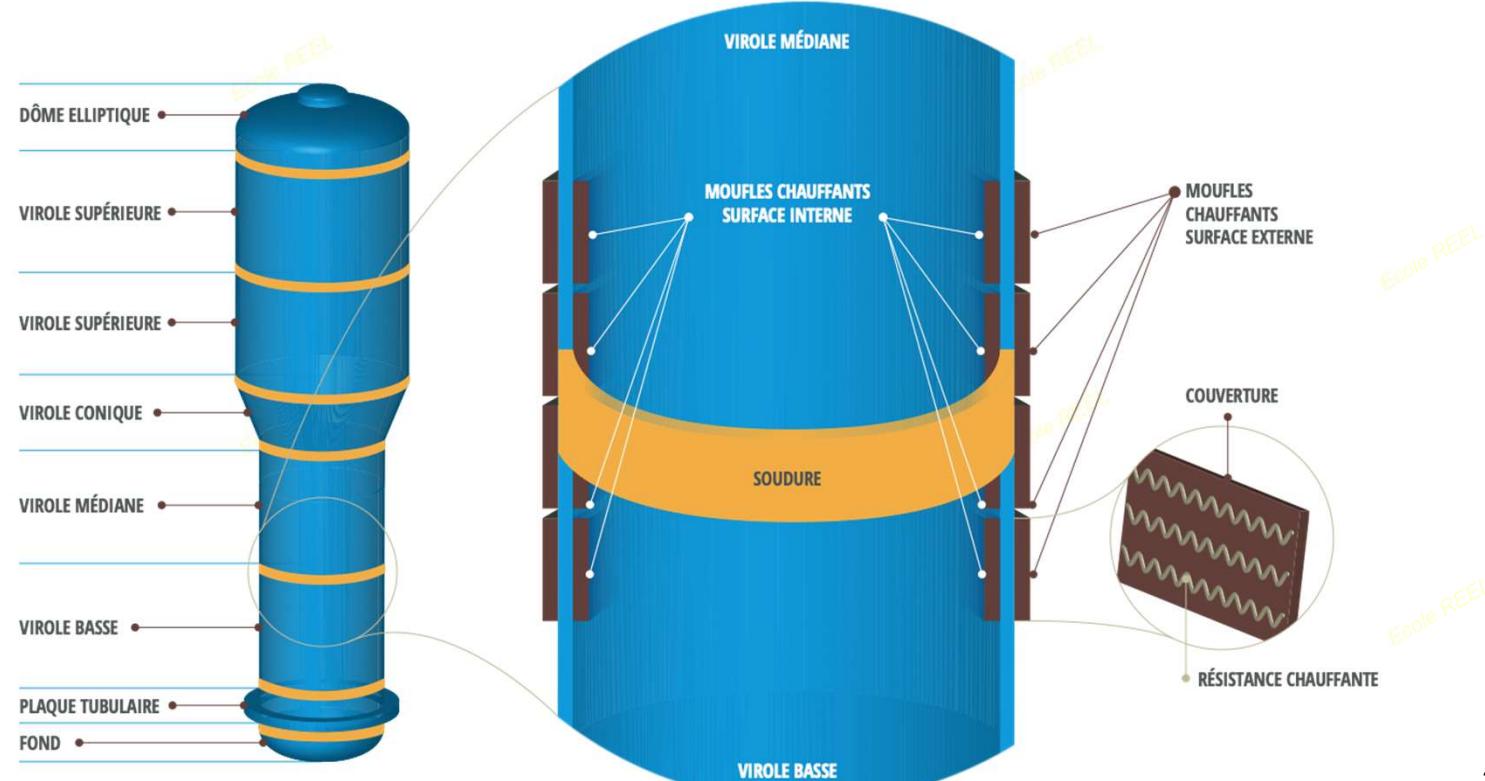
Les traitements thermiques de détensionnement ne seraient pas homogènes avec des T°C trop élevées ou trop faibles dans les zones chauffées des joints soudés et ne respecteraient pas la plage de température prescrite ($595 - 620^{\circ}\text{C}$) par la gamme de fabrication.

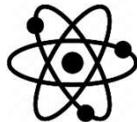
T° trop basse = Moindre réduction des contraintes résiduelles

T° excessive = Diminution de la limite d'élasticité, de la résistance à la traction et de la tenacité du matériau

Contrainte résiduelle + diminution de la tenacité = risque de rupture brutale

Cela pourrait concerner les GV de remplacement de 5 réacteurs 1300.

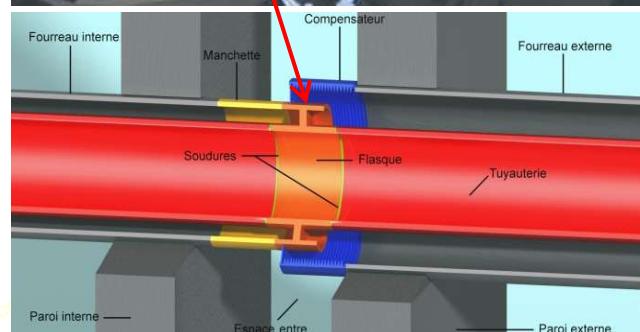
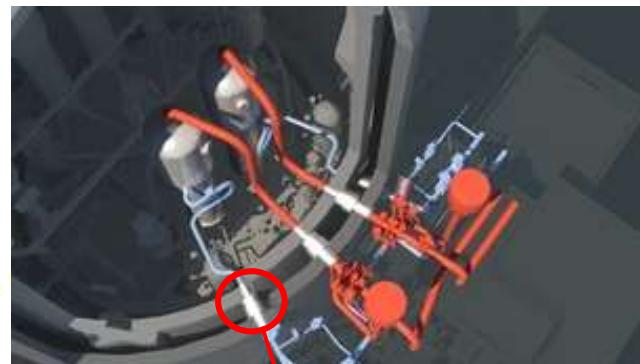




EXPERTNUC



EPR FA3 – LIGNES VAPEUR :



Les défauts

Non respect des critères imposés par le code RCC-M classe 1 (Ecart à toutes les étapes de réalisation: conception, modes opératoires, approvisionnement, choix du produit d'apport, contrôles, organisation, caractéristiques mécaniques trop faibles,...).

Un audit du Bureau Veritas et transmis à AREVA indiquait, dès 2015, une qualité insuffisante : Ecart de tenue des soudures par rapport au code de construction - Qualité globale insuffisante par rapport au critère de conception utilisé *d'exclusion de rupture*.

ENERGIE NUCLEAIRE DOSSIER ASN – FA3 Soudures

L'ASN a jugé qu'EDF devait réparer les soudures défectueuses (58+8) des lignes vapeur. Huit (8) soudures (réalisées en usine par NORDON) se situent dans les traversées de l'enceinte de confinement (au milieu de la double enceinte de béton) et leur accès pour réparation est difficile.

Ces tuyauteries ont été conçues et classées selon la « **démarche d'exclusion de rupture** » donc sans contre mesure en cas de défaillance. Cette **démarche** consiste en un renforcement des exigences de conception, de fabrication et de suivi en service.

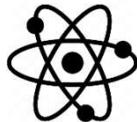
Compte tenu d'un manque de qualité dans les soudures, la **rupture** de celles-ci ne peut plus être considérée comme improbable. Impossible d'accepter la non conformité dans l'état.

Le niveau d'exigences est par ailleurs comparables à celui retenu et atteint pour les autres réacteurs (OL3 et TSN1&2)

Conclusion : **Il faut réparer (ou renoncer à l'exclusion de rupture)**

De lourdes Conséquences :

- Un scénario de traitement des anomalies difficile à mettre en œuvre
- Un retard supplémentaire du chantier avec une mise en service potentiellement décalée de 2020 à **2022, voire 2023**.
- Le décalage et les réparations entraînent un surcoût de plus de **1,5 Milliards d'euros**, portant le budget du projet à plus de **12 milliards d'euros**. Un impact important sur la santé financière d'EDF.
- Le report du démarrage de FA3 constitue la situation la plus pénalisante pour le système français d'approvisionnement en électricité avec les arrêts programmés de plusieurs tranches.
- Le projet risque de ne pas dégager une rentabilité compte tenu du coût et des conditions du marché de l'électricité
- Impact sur le programme du nouveau nucléaire (EPR2) qui devait être prêt en 2021 - Sur le projet HPC (*le financement par le trésor public britannique est conditionnée par la mise en service de la tranche de référence FA3 avant fin 2020*) - Sur la décision du gouvernement indien pour 6 EPR (base FA3) à Jaitapur.



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE DOSSIER ASN – FA3 Soudures

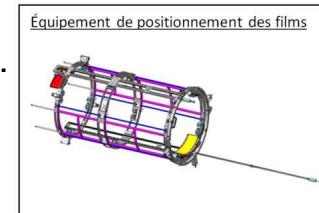
SOLUTIONS DE REPARATION LIGNES VAPEUR

Solutions de réparation des 8 soudures critiques (soudures situées entre les parois de l'enceinte de confinement) devant être présentées à l'ASN avec un programme de développement et d'essais de validation.

Solution de base (Framatome avec **Westinghouse**) :

Réparation par robot de soudage par l'intérieur des tuyauteries.

- Découpe et déplacement de la tuyauterie
- Chanfreinage
- Soudage et contrôles



Robot de soudage développé par « **Westinghouse** » (expérience aux US avec les RGV).

Contrôle des soudure par radiographie (tirs panoramiques) avec robot support développé par **ONET Technologies**. Source à l'intérieur au milieu de la tuyauterie et positionnement des films à l'extérieur



Les travaux de préparation de l'intervention de soudage ont été lancés en fin 2020.

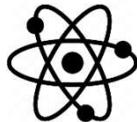
Mars 2021 : EDF vient de recevoir l'autorisation de l'ASN de commencer les travaux de soudures sur les 8 soudures critiques. **Ces travaux sont réalisés à fin Novembre 2021.**

A suivre.

Nota : D'autres défauts concernent les soudures de trois piquages côté pompe primaire sur les tuyauteries primaires.

Problème résolu avec l'ASN sur la base d'une solution de renfort rapporté (**REEL** est impliqué).





EXPERTNUC



Les 4 réacteurs 1450 MW (palier N4) sont touchés par des problème de corrosion sous contraintes (fissuration anormale) sur des soudures des tuyauteries des Circuits d'Injection de Sécurité (RIS) des systèmes de sauvegarde permettant d'assurer le refroidissement des réacteurs en cas d'accident grave (injection d'eau borées dans le cœur du réacteur)

INCIDENTS CHOOZ et CIVEAUX (suivis par l'ASN)

DOSSIER ASN – N4

Défauts détectés lors de la visite décennal du réacteur N°1 de Civaux puis d'autres.

Conséquences : Arrêt des réacteurs pour traitement des défauts avec remplacement des pièces concernées :

CIVAUX Réacteur 1 : Prolongation de l'arrêt jusqu'à fin avril 2022 au lieu de début mars 2022

CIVAUX Réacteur 2 : Prolongation de l'arrêt jusqu'à fin mars 2022 au lieu du 24 décembre 2021

A titre préventif et pour une série de contrôles sur les réacteurs de Chooz du même palier :

CHOOZ B2 : Arrêt du réacteur 2 le 16 Décembre 2021

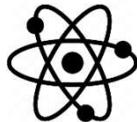
CHOOZ B1 : Arrêt du réacteur 1 le 18 décembre 2021

Au total c'est **16** réacteurs (P'4 et N4) concernés par ce problème



Ces indisponibilités (7 mois) de production de 1450 MWe vont entraîner une perte de production de 1 TWh sur la fin de l'année alors que la sécurité d'approvisionnement du réseau est déjà fragilisée (ce jour, 25 % des capacités du parc était déjà à l'arrêt).

A l'annonce de ces fortuits, baisse de 12 % de l'action EDF !!! Besoin d'importer de l'électricité. Perte historique au 1^{er} semestre pour EDF. Plus de 5 milliards.



EXPERTNUC



Le Code **RCC-M** concerne les matériels mécaniques conçus et fabriqués pour les REP. Il s'applique aux équipements des îlots nucléaires soumis à pression de **classes de sûreté 1, 2 ou 3** et à certains composants non soumis à la pression tels que les internes de cuve, les supports de composants classés, les réservoirs de stockage et les pénétrations d'enceinte.

ENERGIE NUCLEAIRE

CODE DE CONSTRUCTION

Le RCC-M couvre les rubriques techniques suivantes :

- Le dimensionnement et la justification par le calcul,
- Le choix des matériaux et les conditions d'approvisionnement,
- La fabrication et le contrôle, incluant :
 - Les exigences de qualification associées (modes opératoires, soudeurs et opérateurs, ...),
 - Les méthodes de contrôle à mettre en œuvre et les critères d'acceptabilité des défauts
 - La documentation associée aux différentes activités couvertes et l'assurance de *la qualité*.

**On ne mélange pas des codes entre conception et fabrication
La cohérence et l'application d'un même code, de la conception à la réalisation et la surveillance doit s'imposer**



L'édition 2017 est l'édition la plus récente du code. Elle intègre 35 fiches de modifications.

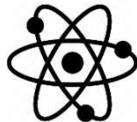
Une grande partie de ces fiches de modifications est issue des travaux de démonstration de conformité du code aux exigences essentielles de la réglementation **ESPN** française applicable aux appareils à pression.

Edition 2018 du RCC-M

L'édition 2018 constituera une évolution importante du code : elle sera compatible avec l'ensemble des résultats des travaux réalisés dans le cadre des commandites ESPN dont elle intégrera les résultats.

Cette édition constituera pour la France une réponse adaptée aux exigences du nouvel arrêté ESPN du 30/12/ 2015. Cette nouvelle édition 2018 du code s'appuiera également sur le retour d'expérience d'application du code dans les projets en cours (FA3, TSN, EPR UK, Générateurs de Vapeur de remplacement) et sur les résultats des travaux des études, suivies par l'ASN, des groupes internationaux (UK, Chine, Europe).

Réglementation ESPN (Arrêté 2015) : Exigences essentielles de sécurité pour la conception et la fabrication des équipements sous pression et à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire et des circuits secondaires principaux de l'îlot nucléaire des Réacteurs à Eau Pressurisée (REP).



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

CODE DE CONSTRUCTION

La disposition réglementaire actuellement en vigueur en France est établie par l'arrêté relatif aux **Equipements Sous Pression Nucléaires (ESPN)** en date du 12 décembre 2005, et couvre les équipements sous pression **fabriqués après janvier 2011** et spécifiquement conçus pour les applications nucléaires.

Un arrêté particulier qui régit à la fois la **conception, la fabrication, l'évaluation de conformité, les exigences essentielles de sûreté, l'installation, la mise en service, la surveillance, l'entretien, l'exploitation et les contrôles en service** des ESPN. **Entré en vigueur le 21 janvier 2011**, il fait l'objet de modifications majeures depuis le 1er janvier 2015 (puis au 30/12/2015 puis des compléments en 2018), *intégrant de nouvelles exigences de sûreté concernant les modalités de justification et de surveillance de la conception, de la fabrication et du montage des ESPN*.

Cette nouvelle réglementation a pour objectif de rendre les garanties de la qualité de ces ESPN encore plus fortes. Elle impose ainsi aux fabricants de fournir à l'Autorité de Sûreté Nucléaire un certain nombre de données supplémentaires concernant notamment les **plans de conception, les composants/matériaux utilisés et leur traçabilité, l'analyse des risques radioactifs**, ou encore les **moyens retenus pour permettre les inspections en situation de service**. Ces nouvelles dispositions entraînent des surcoûts importants avec un impact sur les délais de réalisation.

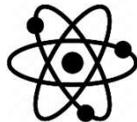
Une mise en application complexe mais nécessaire pour les exploitants d'installations nucléaires(EDF, ORANO, CEA, ...)

La pertinence de cette nouvelle réglementation n'est pas remise en cause par les acteurs de la filière nucléaire mais elle vient complexifier encore un peu plus des procédures déjà très lourdes pour les fabricants et exploitants. Difficile à mettre en application (cas des opérations de RGV, des fabrications d'AREVA, de l'EPR de FA3), elle aura un impact certain sur les outils industriels pour la réalisation des ESPN, la disponibilité des pièces de rechanges et des matériels neufs. Un impact que les exploitants, comme EDF, devront prendre en compte dans le cadre de leurs programmes industriels : Opérations du Grand Carénage, nouveaux projets de réacteurs.

La sûreté et la sécurité des conditions d'exploitation restent la priorité dans la filière nucléaire. Les exploitants se sont dit prêts à se conformer aux demandes de l'ASN, dans un souci permanent d'optimisation du niveau de sûreté de ses installations

Faisant partie du code **RCC** :

- RCC-E** (2016) : Règles de conception et de construction des systèmes et matériels électriques et de contrôle commande des équipement de l'ilot nucléaire
- RCC-C** : Règles applicable aux Assemblages combustibles
- RCC-CW** (2016) : Règles applicable au Génie Civil des REP
- RCC-M** (2016) : Règles de surveillance en exploitation des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP
- RCC – MRx** (2016) : Règles de Conception et de Construction pour les matériels mécaniques des structures à hautes températures et des réacteurs expérimentaux et à fusion (ITER)
- RCC-F** (2013) : Code technique pour la protection incendie de l'EPR



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

CODE DE CONSTRUCTION

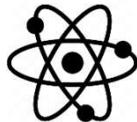
Le code **ASME « Boiler and Pressure Vessel »** américain spécifie les exigences relatives aux équipements sous pression (et certains éléments de structure : Supports) concernant les matériaux, la conception, la fabrication, le contrôle, l'inspection, les essais, la certification et la protection contre la surpression. Il est délivré par « *l'American Society of Mechanical Engineers* », une organisation avec plus de 120 000 membres à travers le monde.

Le Code ASME est divisé en sections distinctes pour différents types d'équipements (chaudières, générateurs à vapeur ou eau surchauffée, chaudières de chauffage, appareils sous pression), procédés de fabrication et d'essais (soudure, CND), matériaux, etc. En outre, il existe des Code Cases (amendements pour les calculs ou les matériaux non couverts par le Code ASME), des Interprétations (explications publiées sur les règles de l'ASME), des normes de référence (par exemple, ASME B16.5 brides) et d'autres normes, telles que celles de la tuyauterie (B31.3 Process Piping).

Les nouvelles éditions du Code ASME apparaissent tous les deux ans, le 1er Juillet. Ils entrent en vigueur le 1er Janvier de l'année suivante. **L'édition ASME qui doit être appliquée pour tout nouvel ordre est celle qui est en vigueur au moment où l'ordre a été contracté. Les exceptions sont les codes nucléaires, dont l'édition applicable doit être spécifiée par l'utilisateur / le propriétaire et approuvé par l'Autorité de Sureté.**

Le système de marquage de l'ASME a été révisé en 2011. Les estampilles de l'ASME utilisées précédemment (U, U2, S, H, etc) ont été remplacées par une seule estampille « certifiée ASME. ». Pour indiquer la Section du Code ASME appliquée dans la fabrication d'un composant, l'indicateur correspondant sera marqué en dessous de l'estampille de certification ASME.

Les fabricants doivent être autorisées par l'ASME avant qu'ils aient le droit de marquer leurs produits avec l'Estampille de certification ASME.



EXPERTNUC



ASME (Suite)

ENERGIE NUCLEAIRE

CODE DE CONSTRUCTION

Les Sections III et IX sont spécifiques aux équipements nucléaires

ASME - NOG (NOG-1 et NUM-1) pour la manutention (« Single Failure Proof ») - CMAA (Cranes) – ASTM (les matériaux) -

NUREG (USNRC Regulation) - ANSI – AWS (soudure) – IEEE (électrique)

En dehors des USA, beaucoup de pays adoptent l'ASME pour leurs projets de réacteurs à l'export : Turquie pour l'ATMEA de SINOP, Finlande pour le projet de VVER Hanhikivi, les projets en UK, le projet APR1400 à Abu Dhabi, le projet Hitachi en GB. **C'est toujours le code de référence à l'export.**



Règles KTA : Allemagne et certains pays d'Europe du Nord :

KTA 3902 Règle de conception des équipements de manutention. Une règle dédiée à la conception de la Machine de Chargement

KTA 3903 Règles pour les essais et l'exploitation des équipements de réacteurs nucléaires

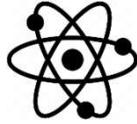
KTA 2502 Règles de conception des piscines de REP

KTA 2201.4 Règles de dimensionnement aux séismes

S'appliquent aux réacteurs Allemands, Finlandais, Suédois. Pour le premier EPR en Finlande, les KTA ont été adoptées pour les équipements de manutention (PMC, ponts). Ces règles sont restées applicables pour les autres projets EPR (FA3, Taishan et UK) afin de conserver la conception de base.

AUTRES CODES : Russie : GOST – Japon (suit le code ASME à l'export) - Chine (s'appuie sur les codes ASME et RCC mais développe ses propres guides) – Finlande : guides YVL

Sans oublié : les CST/CRT EDF – Guides ASN & AIEA - FEM (manutention) – Directive Machine – Normes EN (dont EN13001 pour le calcul des appareils de levage et EN13155 pour les accessoires)



EXPERTNUC



ASSURANCE QUALITE

ENERGIE NUCLEAIRE

ASSURANCE QUALITE

La sûreté nucléaire est assurée par une programme d'Assurance Qualité pour la réalisation des différents équipement qui sont classés par ordre d'**Importance Pour la Sûreté** et en particulier ceux classés **IPS** (un classement Q1 touche les composants de la boucle primaire).



L'Assurance Qualité est appréhendée avec le même état d'esprit et la même rigueur que la sûreté. Sans qualité il ne peut y avoir de Sûreté.

Chaque fournisseur doit disposer :

- D'un Programme d'Assurance Qualité conforme aux exigences dictées par les normes et ou les qualifications (Règles du **Code 50-C-QA rev.1** de l'AIEA applicables - **NQA 1** aux USA)
- D'être certifié ISO (9001 et dans la nouvelle ISO 19443 pour le nucléaire).
- D'être soumis à des audits afin d'obtenir une habilitation propre au client à fournir les équipement considérés :
 - Habilitations EDF pour la fourniture d'équipement
 - Habilitations EDF pour réaliser des prestations en CNPE
- D'établir pour chaque réalisation un Plan Qualité Particulier (PAQP) de réalisation
- D'établir une surveillance en interne, par le clients et par un organisme tiers (type APAVE, CETIM, TÜV, Bureau Veritas) si requis.

ASSURANCE QUALITE

ASME NQA-1 aux USA

Quand on conçoit du matériel IPS, il est essentiel d'être qualifié NQA-1. Cela s'applique aussi à la plupart des équipements fournis par REEL dans l'ilot nucléaire et dans les installations de l'amont et de l'aval.

Les exigences pour cette qualification **ASME NQA1** sont celles publiées en **2022**.

Application des normes et Codes du Groupe CSA au Canada. C'est équivalent aux normes ISO en France : 9001 – 14001 - 45001

L'équivalent au Canada de la NQA-1 est la qualification **CSA CAN3 - N299.3**.

En plus la qualification **CMAA**



L'Unité Technique Opérationnelle (**UTO**) d'EDF est l'entité qui définit les niveaux de qualification et des suivis de formations des entreprises extérieures qui interviennent pour EDF. L'UTO audite chaque fournisseur afin de s'assurer qu'il respecte les exigences de certification en radioprotection. Cette unité de EDF attribue aussi la certification UTO, passeport grâce auquel une société obtient l'aval pour travailler sur les sites EDF. Cette certification est plus connue sous le terme de «note **UTO 85/114**».

Hors de l'UTO, seul le **CEFRI** (Comité français de Certification des Entreprises pour la Formation et le suivi du personnel travaillant sous Rayonnements Ionisants) est habilité à gérer le système de certification.

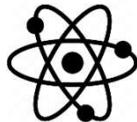
Quelques règles pour le choix des fournisseurs et prestataires :

- **Privilégier des Ingénieries intégrées** : concepteur, fabricant et maintenance.
C'est le cas de **REEL**
- **Eviter la sous-traitance en cascade**. Pas plus de 2 niveaux.
- **Ne pas oublier l'aspect humain** : Par exemple, vérifier les qualifications de mode opératoire de soudage mais aussi la qualification et l'expérience des soudeurs

Remarques :

2018 a vu la publication, par l'organisation internationale ISO, d'une nouvelle norme (**ISO 19443**). Il s'agit du premier référentiel harmonisé sur le plan international dont se dote l'industrie nucléaire pour maîtriser la qualité tout au long de sa « **Supply Chain** ». **NQSA**, association créée par quelques acteurs majeurs de l'industrie nucléaire mondiale (AREVA, Bureau Veritas, ...), est à l'initiative de la démarche qui a abouti à cette norme.

L'ISO 19443 devrait offrir la possibilité de standardiser les exigences qualité et de décliner dans l'industrie un processus partagé de qualification des acteurs de la « Supply Chain ».



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

**ASSURANCE QUALITE
(France)**

LA NOUVELLE NORME ISO 19443 en France

Les déboires de FA3 ont générés chez EDF un programme d'amélioration des compétences EXCELL qui entraînera l'application de la norme **ISO 19443** applicable à tous les acteurs de la filière.

La norme rassemble les exigences spécifiques pour l'application de l'ISO 9001:2015 par les organisations de la chaîne d'approvisionnement du secteur de l'Energie Nucléaire fournissant des produits ou services importants pour la sûreté nucléaire (IPSN).

La norme ISO 19443 n'est autre qu'une déclinaison de la norme internationale ISO 9001 Système de Management de la Qualité (SMQ), adaptée aux spécificités du secteur du nucléaire (et exigences EDF).

Elle permet aux entreprises de s'appuyer sur les principes suivants :

- L'implication de la direction
 - L'orientation client,
 - L'implication du personnel
 - L'approche processus
 - L'approche système
 - L'amélioration continue
 - La prise de décisions basée sur des faits
 - Les relations mutuellement bénéfiques avec les fournisseurs.
- Objectif de REEL : Certification Etudes / Gestion Affaires pour le 1^{er} semestre 2022. C'est fait**

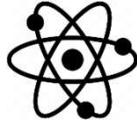
Exigences lourdes pour l'ensemble des fabrications (et des usines)



La version actuelle d'ISO 19443 date de **mai 2018**.

Pourquoi se faire certifier ISO 19443 ?

La certification de votre système de management de qualité (SMQ) dans le secteur nucléaire selon la norme ISO 19443 vous permet d'apporter la preuve et la reconnaissance de la qualité de vos prestations (fiabilité, traçabilité, compétences, sensibilité à la sûreté). Entre autres, elle sera un atout concurrentiel indéniable dans la compétition des Appels d'Offres. **Applicable à l'EPR2 uniquement.**



EXPERTNUC

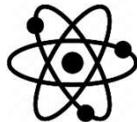


REEL Academy

ENERGIE NUCLEAIRE REGLES DE CONSTRUCTION

QUELQUES EXIGENCES DU NUCLEAIRE :

- Une identification des fonctions de sûreté et la classification des composants selon leur importance pour la sûreté.
- Une documentation détaillée (Plan Qualité, Spécifications, Procédures, RFF...) et précise.
- Une traçabilité des matières, des pièces et des opérations avec les points d'arrêt pertinents
- L'application stricte des procédés définis et bien documentés (cas des procédures de soudage, de contrôle, d'épreuve et d'essais) selon le code applicable .
- La conformité stricte. Acceptation de « Non-Conformités » dans l'état très documenté. Dans certains cas pas de non-conformité acceptable dans l'état.
- Habilitation et qualification : Les sites industriels - Cas des soudeurs et des contrôleurs
- Les contrôles avec qualification des appareils de mesure.
- Contrôle par un organisme tiers (APAVE, CETIM, Bureau VERITAS, TÜV)
- Contrôle par l'Autorité de Sûreté (Finlande STUK, UK ONR, Allemagne TÜV, US NRC,...)
- Les essais en usine puis sur site (conditions normales et accidentielles)
- Une cohérence parfaite entre documentation et réalisation
- Propreté des installations (normes RCCM/PMUC en France) et gestion des flux
- Le Retour d'Expérience (REX)



EXPERTNUC



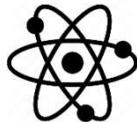
ENERGIE NUCLEAIRE REGLES DE CONSTRUCTION

Règles de Conception : Identification des Fonctions de Sûreté et Classification des Composants

Dans les Installations Nucléaires de Base (**INB**), la prévention des incidents et accidents de nature radiologique et s'ils survenaient, la limitation de leurs conséquences reposent sur la réalisation de fonctions de sûreté. Les exigences de conception, de réalisation et de suivi en exploitation attribués aux Structures, Systèmes et Composants (**SSC**) qui remplissent ces fonctions dépendent de leur rôle dans la démonstration de sûreté nucléaire.

Le classement de sûreté constitue la démarche formalisée et structurée qui permet de définir les exigences générales de conception, de fabrication et de suivi en exploitation applicables aux Systèmes, Structures et Composants en fonction de leur **Importance Pour la Sûreté (IPS)** :

- Classement fonctionnel de type **F1A** (cas du tube transfert), **F1B** et **F2**
- Classement des matériels électriques et de Contrôle-Commande selon le RCC-E et Directive Machine. Classes (1E LOCA,) et catégories des câbles (K0, K1,K2 et K3).
- Classement mécanique (RCC-M) : M1 (circuit primaire), M2 (non isolé du fluide primaire mais avec intégrité de la gaine du combustible non requise – cas du tube transfert) et M3
- Classement lié au risque sismique : **SC1** (participe au confinement – cas du tube transfert), **SC2** (contre la chute – cas de la MdC) et **Non Classé Sismique**
- Classement des exigences qualité : **Q1**, **Q2** et **Q3**
- Classement et exigences associés aux équipements dont la défaillance n'est pas postulée dans la démonstration de sûreté nucléaire



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

GESTION DES ACCIDENTS

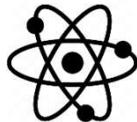
LA GESTION DES ACCIDENTS GRAVES

On appelle « Accident Grave » ou « accident de fusion du cœur » d'un REP, un accident ou cours duquel le combustible du réacteur est significativement dégradé avec fusion plus ou moins étendue du cœur. Cette fusion résulterait d'une absence prolongée de refroidissement du cœur par le fluide coloporeur et consécutivement d'une augmentation importante de la température des crayons de l'Assemble Combustible dénoyés (au-delà de 900 °C). Cet accident ne peut survenir qu'à la suite d'une accumulation de défaillances multiples, humaines ou matérielles. Des agressions externes (séisme, inondation, attaques explosives) peuvent conduire à un accident de fusion du cœur si leur amplitude excède le dimensionnement des installations (« *behind design* »).

Si la dégradation du cœur ne peut être arrêtée dans la cuve par refroidissement du cœur dégradé, l'accident peut conduire à une perte de l'intégrité du confinement, à un écoulement du cœur fondu (corium) hors cuve et à des rejets importants de produits radioactifs dans l'environnement.

Différents scénarios conduisant à ces situations sont étudiés (arbres de défaillances), en particulier :

- Accidents de perte de réfrigérant primaire (APRP ou LOCA : « *Loss Of Cooling Accident* »): Brèches
- Accidents de perte de réfrigérant primaire à l'extérieur de l'enceinte de confinement (V - LOCA)
- Accidents de rupture d'une tuyauterie secondaire (RTE, RTV)
- Accidents de rupture de tubes d'un Générateur de Vapeur (RTGV)
- Accidents de perte totale de la source froide ou des systèmes associés (H1- Hors dimensionnement)
- Accidents avec perte totale de l'alimentation en eau des Générateurs de Vapeur (TGTA-H2)
- Accidents avec perte totale des alimentations électriques (H3)



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

PREVENTION FME

Le **Risque FME**, en anglais « *Foreign Material Exclusion* », désigne l'ensemble des **risques** d'introduction de corps ou de produits étrangers dans les installations. On parle couramment de **FME** pour englober les moyens mis en place pour lutter contre ces **risques** (contrôle, signalisation, obturation, inventaire régulier,...).

En bref, dans une stratégie portée sur le FME, on cherche à empêcher tout objet de se perdre.

C'est un ensemble de procédés bien intégré au fonctionnement des centrales nucléaires à travers le monde. On retrouve les mêmes techniques dans le domaine aérien pour garder les pistes propres et sécurisées : on l'appelle alors le **FOD** (*Foreign Object Damage ou Foreign Object Debris*). Les principes du FOD sont très semblables à ceux du FME, la principale différence étant l'environnement d'application (l'aviation ou le nucléaire). Ils partagent le même objectif : empêcher l'intrusion de corps étrangers.

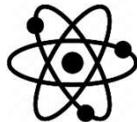
Pourquoi est-ce si important d'investir dans la FME ?

Parce qu'un objet perdu en centrale force l'arrêt de celle-ci. D'une part, on s'expose à un risque pour la **sécurité** ; d'autre part, les opérations de récupération peuvent avoir des **répercussions financières très lourdes** entre le temps d'arrêt et les moyens humains et techniques déployés. On compte qu'environ 1 chantier sur 4 est retardé par des problèmes de FME et de traçabilité des objets. Ces pertes en terme de coût et de productivité peuvent être évitées par la sensibilisation du personnel, la signalisation des zones à risques et l'utilisation d'équipements de sécurisation des équipements concernés et l'outillage utilisé pour le montage et la maintenance.

L'application des procédés FEM est essentielle pour les équipements de manutention (situé généralement en hauteur) et pour les opérations de services au-dessus de la cuve et des piscines.

Depuis le 1^{er} mars 2018, un nouveau référentiel est applicable en termes de prise en compte du risque FME.

Pour EDF, ce référentiel se traduit notamment par l'établissement d'une fiche dite « *Fiche OR* » présentant les mesures prévues dans le cadre de chantiers identifiés à risque FME.



EXPERTNUC



La **cyber-sécurité** est reliée au processus de contrôle et communication entre personnes et machines. Avec la transformation numérique, la cyber-sécurité devient un enjeu compte tenu des inter-connexions entre équipements et réseaux

ENERGIE NUCLEAIRE

CYBERSECURITE

La Guerre en Ukraine est
aussi une CyberGuerre

Une approche de la cyber-sécurité pour les infrastructures :

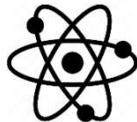
- Principe de scellement du processus. On peut garantir qu'aucune autre valeur sera adoptée sur la base de la signature du processus
- Incrire les anomalies de fonctionnement dans le système ce qui permet la détection de celles-ci.
- L'architecture système à confiance (« *Zero Trust Architecture* »). Cela repose sur deux principes :
 - Les réseaux sont des espaces non sûrs
 - Tout accès à un processus doit faire l'objet d'une authentification forte et robuste

La notion de **cyber-résilience** est importante et **doit s'imposer dès la conception des systèmes**

Exemple de Cyber Attaque : Stuxnet est un ver informatique découvert en 2010 qui aurait été conçu par la NSA en collaboration avec l'Unité israélienne 8200 pour s'attaquer aux Centrifugeuses des usines d'enrichissement d'Uranium Iranienne. Conséquences : Reprogrammation des conditions de fonctionnement des centrifugeuses et détérioration de celles-ci.

Spécifique au système Windows, c'est une cyber arme, conçue pour attaquer une cible industrielle. Il cible spécifiquement les systèmes SCADA utilisés pour le contrôle commande de procédés industriels. Stuxnet a la capacité de reprogrammer des API produits par Siemens et de camoufler ses modifications. Le ver a affecté 45 000 systèmes informatiques, dont 30000 situés en Iran, y compris des PC appartenant à des employés de la Centrale Nucléaire de Bouchehr.

L'**ENISA**, l'Agence Européenne de cyber-sécurité, a été créée en 2004 et renforcée par l'adoption du "Cybersecurity Act" européen le 11 juin 2019. **La France se place bien en cybersécurité.**



ENERGIE NUCLEAIRE

RISQUE RADIOACTIF

Le personnel travaillant auprès d'un réacteur nucléaire est susceptible d'être exposé aux rayonnements ionisants. Lorsque **le réacteur est en fonctionnement normal**, le risque principal est celui d'une **exposition externe**, le risque de contamination interne est très faible. Lorsque le **réacteur est à l'arrêt**, notamment pour décharge et recharge de combustible, certaines opérations de maintenance comportent un **risque de contamination interne** plus important.

Périodiquement les réacteurs doivent être arrêtés afin de renouveler une partie du combustible. Ces arrêts sont aussi l'occasion de vérifier et d'entretenir ou de modifier un certain nombre de matériels, ces opérations ne pouvant pas être effectuées lorsque le réacteur fonctionne.

Certaines interventions nécessitent l'ouverture et la manipulation de matériels devenus radioactifs du fait de leur proximité avec le combustible, voire contaminés par des produits de fission radioactifs, et présentent par là même des risques de contamination interne pour les intervenants.

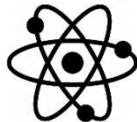
La *contamination interne* des personnels résulte le plus souvent de la dispersion de poussières, issues de la corrosion et usure de pièces mécaniques. Ces poussières sont généralement contaminées par des produits d'activation tels que les **isotopes du cobalt**. Exceptionnellement, des produits de fission peuvent également être dispersés, typiquement de **l'iode** et du **césium**, lorsque des gaines de combustible sont endommagées. Dans ce cas, la mise en circulation de ces particules dépend directement de la plus ou moins grande volatilité des éléments radioactifs.

Des dispositions organisationnelles et matérielles adaptées aux risques propres à chaque type de chantiers sont prises afin de protéger les intervenants. En zone potentiellement contaminée, les intervenants sont équipés de tenues étanches et de dispositifs de protection respiratoire. Sauf incident, c'est au moment du déshabillage que le risque de contamination interne est le plus grand.

Les chantiers identifiés comme étant susceptibles de générer une contamination font l'objet d'un confinement qui les sépare physiquement des autres zones ; leur accès est réalisé via des sas, qui ont pour but d'empêcher la propagation des aérosols radioactifs. Des dispositifs sont mis en place pour assurer une cascade de dépressions des zones non contaminées vers les zones les plus contaminées, dont les rejets d'air sont filtrés. Dans ces conditions, il n'y a pas de dispersion de radionucléides à l'extérieur de la zone du chantier, sauf défaillance.

Une contamination peut cependant aussi résulter d'une mauvaise estimation du risque lié au chantier, qui conduit à sous-estimer, voire à ignorer le risque de contamination aérienne (par exemple, ouverture d'un circuit supposé non contaminé...). La contamination peut aussi s'étendre à d'autres zones de chantier si les opérations ont été insuffisamment préparées (par exemple ouverture d'un circuit sous pression).

Des balises de mesure des aérosols permettent de mesurer en permanence la radioactivité ambiante dans la zone de chantier. Enfin, des contrôles systématiques de non contamination sont réalisés à chaque sortie de zone sur les personnels et les matériels.



EXPERTNUC



La surveillance individuelle de la **contamination interne** est assurée par des examens *anthroporadiamétriques* (mesures directes de la contamination interne corporelle par des radionucléides émettant des rayonnements X et gamma) et des analyses *radiotoxicologiques* (dosages réalisés sur des *excreta* pour des radionucléides émetteurs alpha, bêta et gamma).

Ces mesures sont généralement réalisées par les laboratoires des exploitants (EDF, ORANO, CEA) qui ont été agréés par l'Autorité de Sûreté Nucléaire après que l'IRSN ait rendu son avis sur l'adéquation des matériels et des méthodes de dosimétrie mis en œuvre. L'IRSN possède aussi son propre laboratoire de référence, également accrédité, auquel il est fréquemment demandé de valider par des mesures indépendantes les résultats des mesures réalisées dans les laboratoires des exploitants.

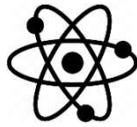
Contrairement à **l'irradiation externe**, qui est mesurable à l'aide de **dosimètres individuels**, le niveau de contamination interne n'est pas directement mesurable. Son évaluation nécessite des calculs fondés sur un *modèle biocinétique* propre à chaque radionucléide, calculs réalisés à partir des résultats des analyses effectuées. En pratique, pour réduire les incertitudes sur la connaissance de la dose reçue par un travailleur après un incident de contamination interne, il est en général nécessaire de disposer de plusieurs résultats de mesures réalisées à différents intervalles de temps (de plusieurs jours à plusieurs mois selon le radionucléide), de manière à ajuster aux mieux le modèle biocinétique standard au cas particulier considéré. C'est pourquoi l'évaluation de dose faite sur la base d'un seul résultat, dans les premiers jours après une contamination interne, doit être considérée avec prudence.

La surveillance individuelle dans les centrales EDF, concernées principalement par un risque de contamination interne par des radionucléides émetteurs gamma (produits d'activation et produits de fission), repose essentiellement sur des examens anthroporadiamétriques alors que les activités des autres installations nucléaires (ORANO et CEA) conduisent à privilégier les analyses radiotoxicologiques (urines, selles et prélèvements nasaux).

Les résultats des examens anthroporadiamétriques sont classés par EDF en différentes catégories selon le niveau de contamination estimé. L'une des catégories correspond à un niveau de contamination susceptible de conduire à un dépassement du seuil d'enregistrement des doses internes par EDF correspondant à 1/40e de la limite réglementaire de 20 mSv par an, soit 0,5 mSv..

Surveillance de l'environnement : le cas du Rhône avec une importante installation à Arles de contrôle des ultratraces de radioactivité dans le Rhône. Traces de Tritium et de C14.

RISQUE RADIOACTIF



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

RISQUE RADIOACTIF

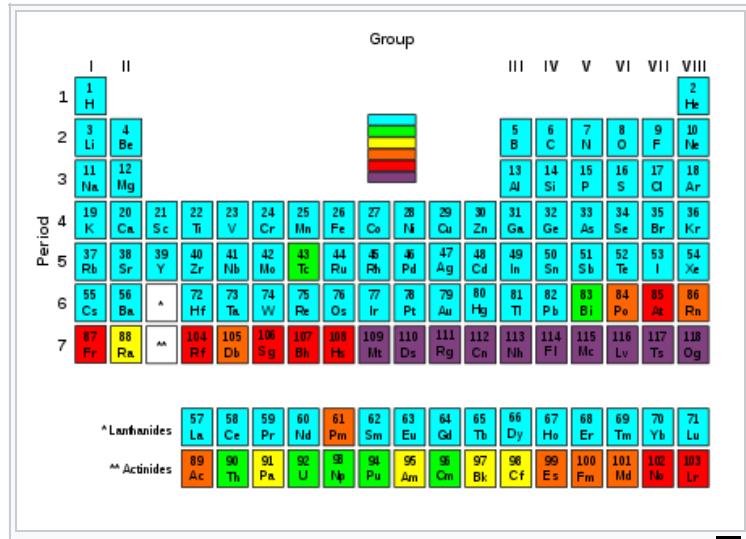


Tableau périodique avec les éléments colorés selon la demi-vie de leur isotope le plus stable.

■ Éléments qui contiennent au moins un isotope stable.

■ Éléments radioactifs : l'isotope le plus stable possède une demi-vie de plus de 4 millions d'années.

■ Éléments radioactifs : l'isotope le plus stable possède une demi-vie de 800 à 34000 ans/

■ Éléments radioactifs : l'isotope le plus stable possède une demi-vie de 1 jour à 103 ans.

■ Éléments très radioactifs : l'isotope le plus stable possède une demi-vie entre quelques minutes et un jour.

■ Éléments extrêmement radioactifs : l'isotope le plus stable a une demi-vie de moins de quelques minutes.

Protection des structures pour limiter les risques de contamination :

- Conception des structures la plus simple en limitant des zones de rétention et/ou difficilement accessibles. Structures tubulaires de préférence
- Peinture décontaminable (acier peint) ou utilisation de structure en inox (poli ou non)

ZONAGE

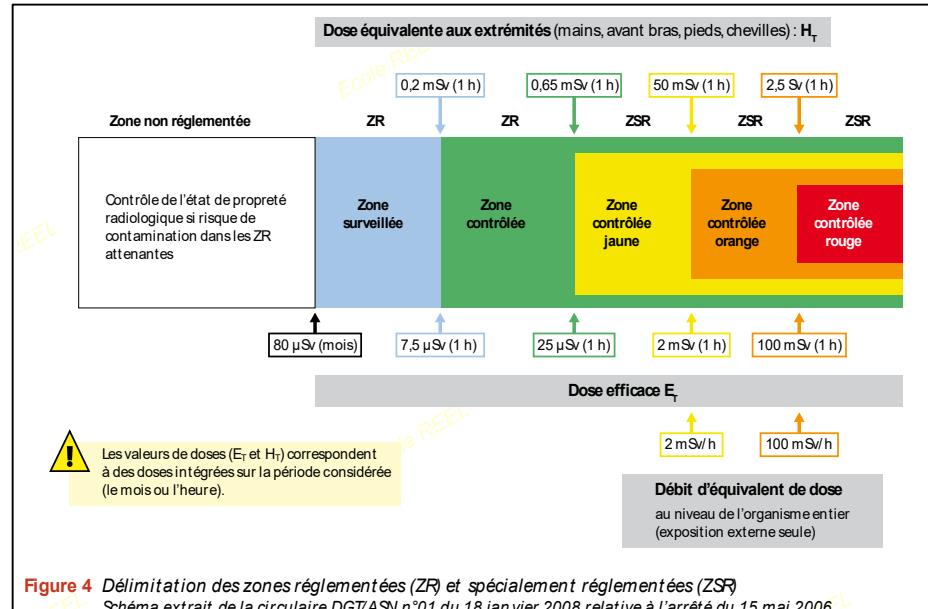
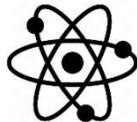


Figure 4 Délimitation des zones réglementées (ZR) et spécialement réglementées (ZSR)
Schéma extrait de la circulaire DGT/ASN n°01 du 18 janvier 2008 relative à l'arrêté du 15 mai 2006

- une zone surveillée, dès lors que les travailleurs sont susceptibles de recevoir :
 - une dose efficace dépassant 1 mSv/an, dans les conditions normales de travail,
 - ou une dose équivalente dépassant un dixième de l'une des limites fixées pour la peau, les mains, les avant-bras, les pieds et les chevilles (soit 50 mSv), ou le cristallin (soit 15 mSv).
- une zone contrôlée, dès lors que les travailleurs sont susceptibles de recevoir :
 - une dose efficace de 6 mSv/an, dans les conditions normales de travail,
 - ou une dose équivalente dépassant les trois dixièmes de l'une des limites fixées pour la peau, les mains, les avant-bras, les pieds et les chevilles (soit 150 mSv) ou le cristallin (soit 45 mSv).



EXPERTNUC



EFFETS DES RADIATIONS SUR LES COMPOSANTS

Sur les matériaux :

Vieillissement de la cuve soumis à l'irradiation des combustibles : Le fluage.

Programme de surveillance par des éprouvettes témoins mises en place dans la cuve

Contrôle approfondis de la cuve lors des Décennales avec l'outillage MIS.

Pour les structures en contact avec le Combustible irradié, choix de matériaux à faible taux de cobalt afin de réduire l'activation (il faut penser à la maintenance et au démantèlement)

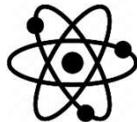
Sur les Composants électroniques :

Cela touche les composants électroniques/électriques proche des Assemblage Combustibles ou de toutes sources radioactives.

Ces contraintes sont très sévères pour tout équipement travaillant dans une ambiance radioactive. C'est le cas des équipements de cellule chaude en particulier et des caméras de vue sur les combustibles.

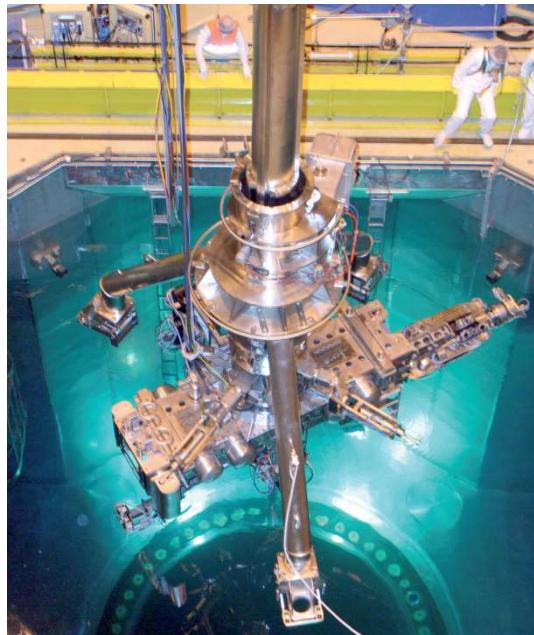
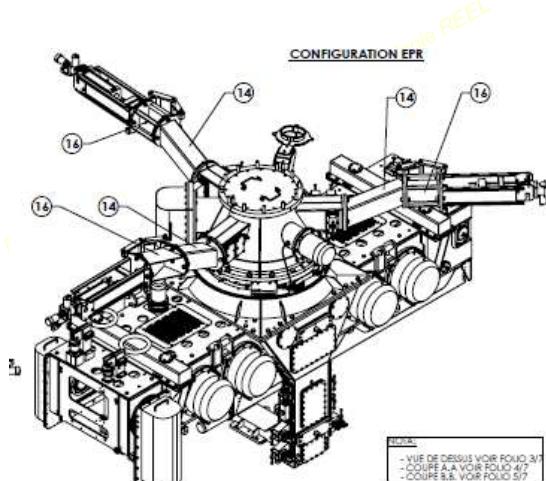
Distanciation / protections biologiques /choix de composants sont les parades

Généralement les équipements travaillant à proximité d'une source radioactive (cas du combustible nucléaire) sont **durcis** ou maintenus à distance pour résister aux radiations.



OUTILLAGES DE CONTRÔLE DE LA CUVE & OUTILLAGE EPROUVETTES DE SURVEILLANCE

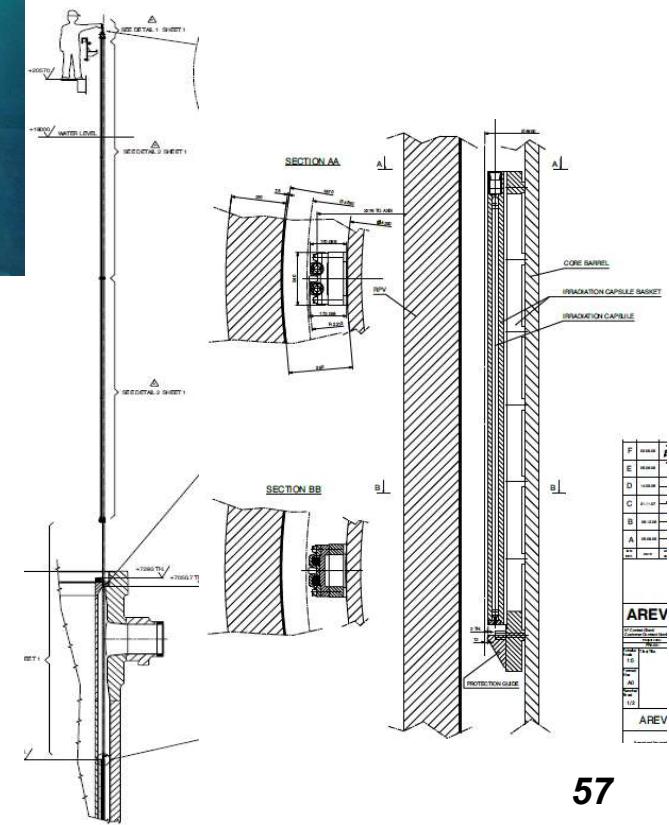
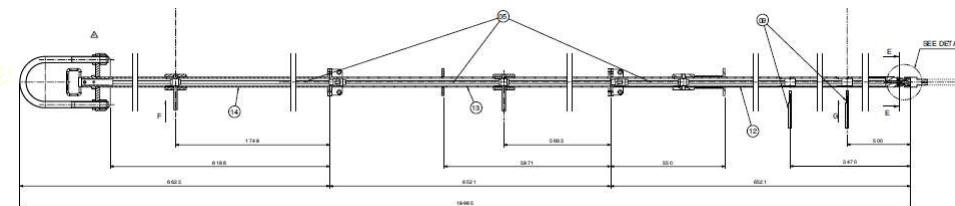
La MIS (Intercontrôle)

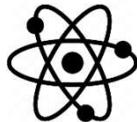


REEL (Nantes) a fabriqué les structures de la MIS pour Intercontrôle
REEL fournit les outillages d'insertion et d'extraction des éprouvettes témoin

EPROUVETTES DE SURVEILLANCE : OUTILLAGE DE MISE EN ŒUVRE :

- Outilage de mise en place des éprouvettes
 - Outilage d'extraction des éprouvettes
 - Un panier de stockage des éprouvettes





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

RADIOPROTECTION

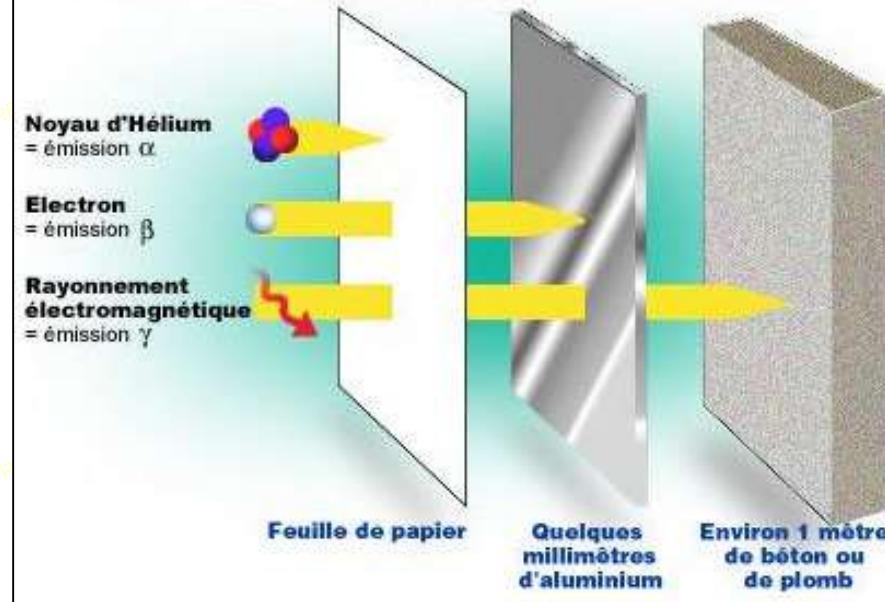
RAYONNEMENT IONISANT : Processus de transmission d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques (photons gamma) ou de particules (alpha, bêta, neutrons) capable de produire directement des ions en traversant la matière. Ces rayonnements ionisant sont produits par des sources radioactives (Combustibles nucléaires irradiés). En traversant les tissus vivants, les ions provoquent des phénomènes biologiques pouvant entraîner des lésions dans les cellules de l'organisme.

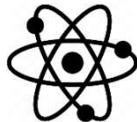
RADIOPROTECTION : La radioprotection est définie comme l'ensemble des règles, des procédures, des moyens de prévention et de contrôle/surveillance visant à empêcher ou à réduire les doses reçues (et leurs effets nocifs) par les rayonnements ionisants émis chez les personnes directement ou indirectement confrontées à des ambiances et des expositions, y compris les atteints à l'environnement

Meilleurs protections :

- Réduire les temps d'exposition
- Augmenter la distance des sources
- Créer des zonages
- Utiliser des matériaux absorbants les ions :
 - L'eau (Hydrogène)
 - Certains matériaux (Carbure de Bore – Résine Graphite absorbent les neutrons)
 - Les métaux lourds (Plomb) absorbent les rayons gamma.
- Confinement avec des zones de dépression
- Justification des procédures
- Optimisation avec la méthode **ALARA**
("As Low As Reasonably Achievable")
- Limites réglementaires à respecter

Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements





LA RADIOACTIVITE NATURELLE (Rayonnements terrestres)

Des radionucléides naturels d'origine terrestre sont présents à des teneurs diverses dans tous les milieux de notre environnement, y compris dans le corps humain. Ces radionucléides conduisent à une exposition externe des personnes du fait des émissions de rayonnement gamma produites par les chaînes de l'**Uranium 238**, du **Thorium 232** et du **Potassium 40** (K40) présents dans les sols mais aussi par inhalation de **Radon** (gaz radioactif provenant de la désintégration d'Uranium et de Thorium) ou de particules remises en suspension, par ingestion de denrées alimentaires ou d'eau.

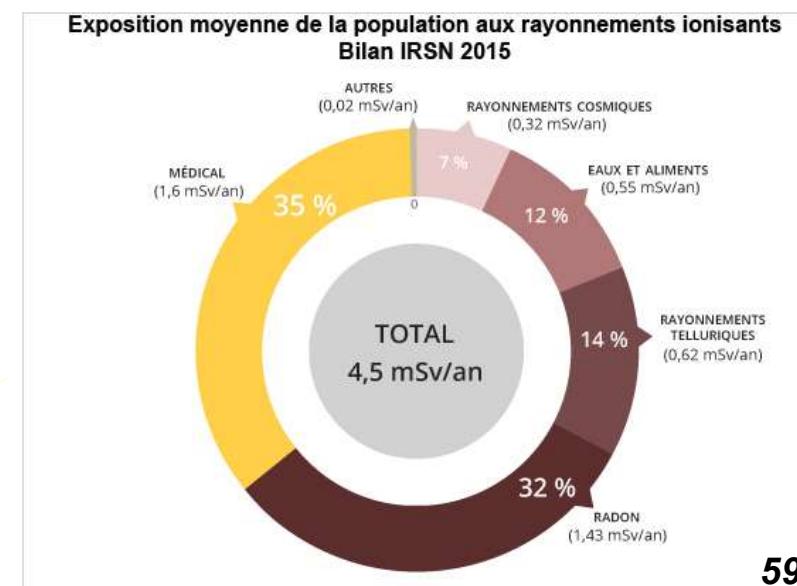
Cette radioactivité naturelle provient donc du sol ou des bâtiments (18%), du Radon (42%), des rayons cosmiques (14%), des sources artificielles du médical (14%) et de la nourriture/boissons (11%).

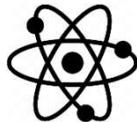
Selon la nature des sols la radioactivité naturelle est plus ou moins importante.

Elle est forte dans les massifs granitiques (Bretagne)

On a enregistré une radioactivité naturelle de 250 mSv/an (pointe à 700 mSv/an) à Ramsar en Iran.

L'exposition moyenne pour un individu à la radioactivité naturelle est de **3 mSv/an**
(Elle est plus forte en Bretagne, massif granitique)





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

RADIOPROTECTION

DOSIMETRIE

La **dosimétrie opérationnelle** utilise des dosimètres électroniques qui enregistrent l'exposition aux rayonnements ainsi que leurs doses reçues au fil du temps. Les données dosimétriques sont collectées par le système DOSIAP puis envoyé à l'IRSN. En l'associant à un système de contrôle d'accès (portiques) on limite l'exposition totale et on contrôle l'accès aux zones dangereuses.

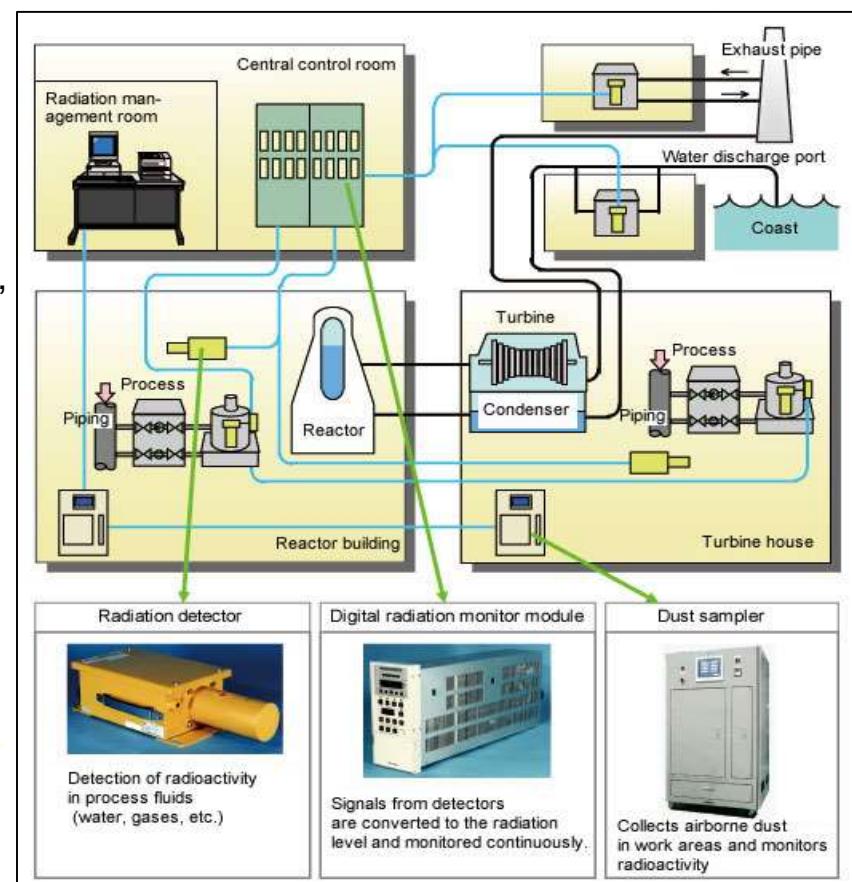
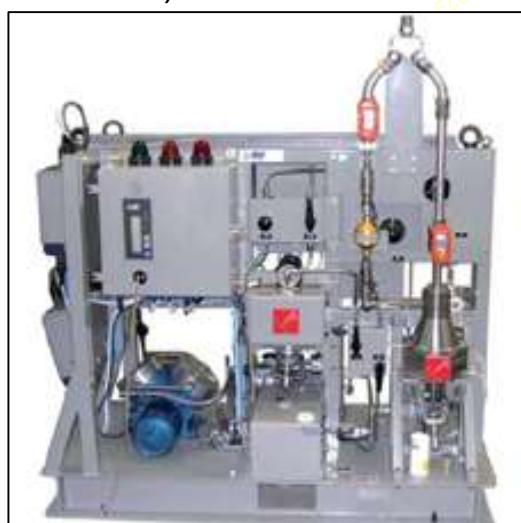
CONTRÔLE RADIOLOGIQUE

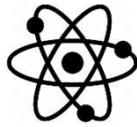
(système KRT Groupe 1 et Groupe 2)

Radio Monitoring System (RMS)

Un ensemble d'équipements fixes (balises) qui permet de contrôler les doses émises en différents lieux de la centrale, à l'intérieur ou à l'extérieur des divers bâtiments. Contrôle les rayonnements Alpha, Beta, Gamma et Neutronique.

Un équipementier : MIRION avec MGP Instruments/ Canberra (Système **RAMSYS**)



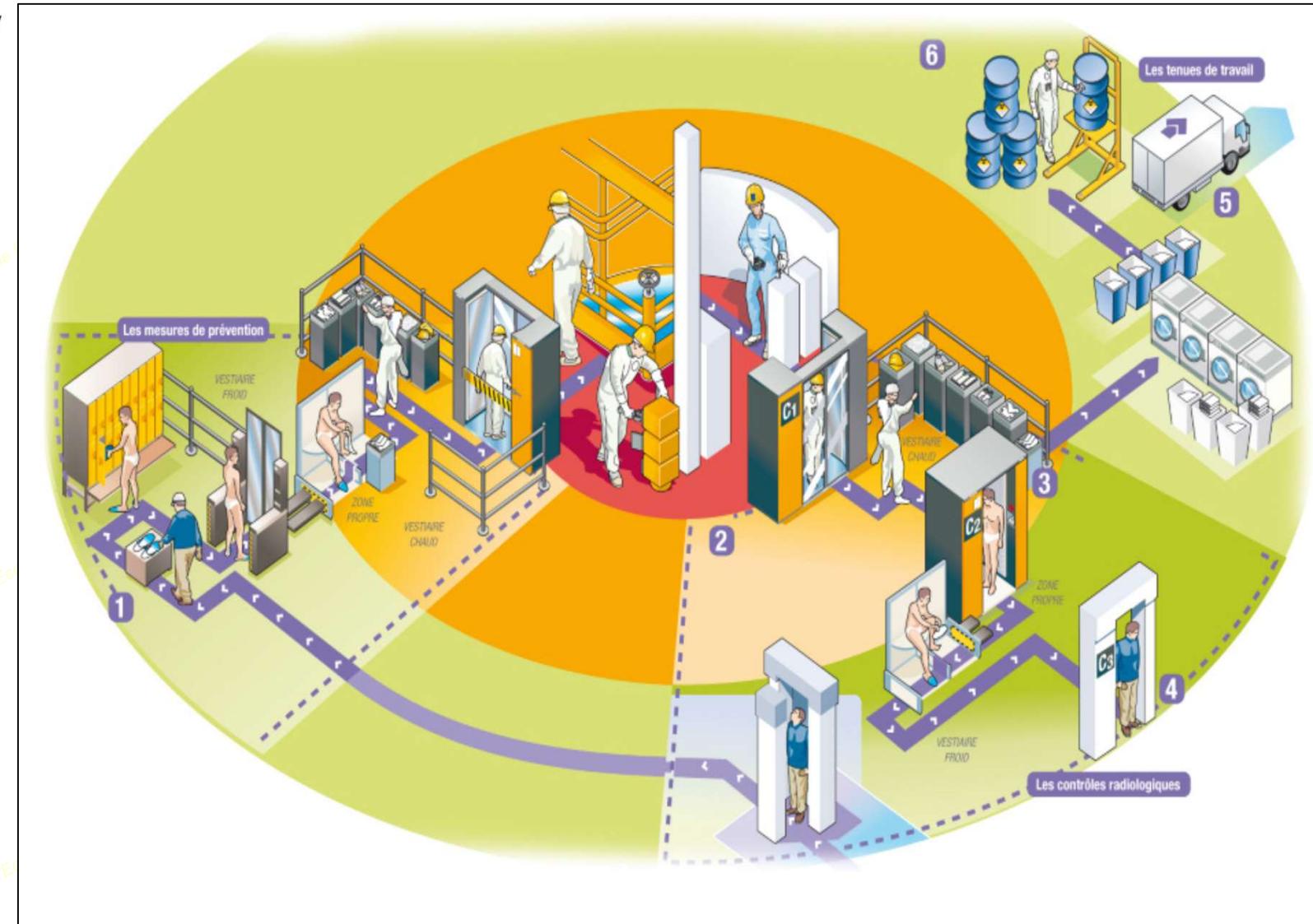


EXPERTNUC

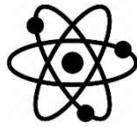


ENERGIE NUCLEAIRE

RADIOPROTECTION



CONTROLE DES ACCES : ENTREE / SORTIE



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

RADIOPROTECTION

LES CONTRÔLES & DOSES - Exposition / Contamination

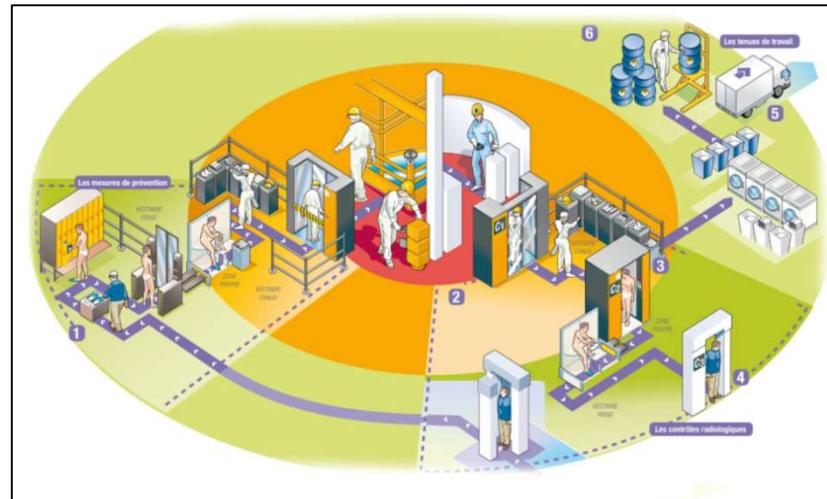
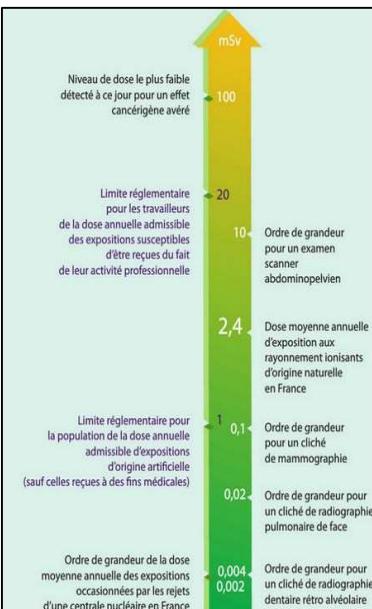
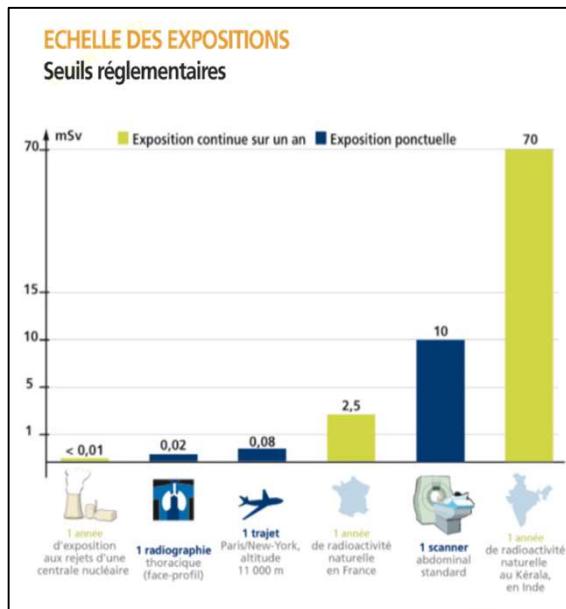
Exposition externe : Source radioactive à proximité de la personne. Mesurée par Dosimètre

Contamination externe : Source au contact de la personne à l'extérieur. Mesurée par compteur externe ou par frottis

Contamination interne : Les radioéléments ont pénétré à l'intérieur du corps. Mesurée par radio-toxicologie par prélèvements biologiques

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



QUELQUES CHIFFRES

Exposition à la radioactivité naturelle (dose reçue) : **2,5 mSv/an**

Exposition d'un équipage d'avion volant 12 h : **9 mSv/an**

Dose limite annuelle pour l'exposition des travailleurs : **25 mSv/an**

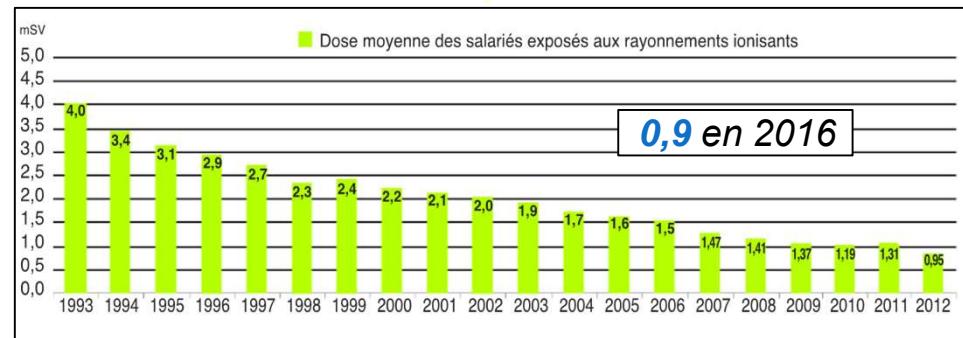
Dose de référence : 0,44 H.Sv/an/Tranche

Dose collective : 0,35 H.Sv/an/Tranche

Zone (**verte**) accessible contrôlée en CNPE : 25 µSv/h (Gamma et Neutron)

Dose à ne pas excéder durant 1 année : **50 mSv/an**

(Aucun risque pour une dose de moins de 100 mSv/an)



Travailleurs de Fukushima :

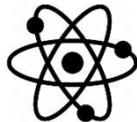
Plus de 250 mSv

Travailleurs de Tchernobyl :

jusqu'à 500 mSv

Liquidateur de Tchernobyl (le premier jour) : 20 000 mSv

(50 morts par irradiation)



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

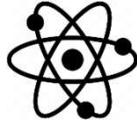
RADIOPROTECTION

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Unité	Définition	Correspondance	
Gray (Gy) <i>(dose absorbée)</i>	1 Gy = 1 joule par Kg = quotient de l'énergie déposée dans un élément de volume de matière et de la masse de cet élément	1 Gy = 100rad	1 Gy = 100rad
Becquerel (Bq) <i>(activité)</i>	1 Bq = 1 désintégration par second <i>Traduit l'activité d'une source par le nombre de noyaux qui se désintègrent pendant 1 seconde</i>	(1 curie = $3,7 \times 10^{10}$ Bq)	1 kg de granite peut avoir une activité de 1000 Bq. Une personne adulte a une activité voisine de 8000 Bq (K_{40} et C_{14})
Sievert (Sv) <i>(Équivalent de dose)</i>	Rayonnement ionisant + effet sur l'organisme = Exposition. La réglementation impose des limites d' exposition (ou irradiation) à ne pas dépasser. Ces limites s'expriment en milliSievert (mSv) On parle toujours de l'équivalence de dose absorbée . Elle caractérise la nuisance pour l'organisme	1 SV = 100 rem Pour les Rayonnements β et γ , il y a équivalence entre Sv et Gy	Pour une exposition à moins de 200 mSv, il n'y aurait pas d'effets dangereux. A moins de 100 mSv, il n'y a pas de risque
mSv/h <i>(débit de dose)</i>	Débit de dose Dose = Débit de dose \times Temps		Exposition à 6 Sv dans un temps très court = dose létale à 100 % Un séjour de 2 heures dans un débit de dose de 5 mSv fait subir une dose de 10 mSv

Rayonnement	En exposition externe. Ce sont les rayonnements très pénétrants (gamma et neutron) qui provoquent les doses	Rayonnement électromagnétiques (X et gamma) Rayonnement corpusculaires (neutrons, protons, alpha, bêta)
Distance	Le débit de dose est divisé par le carré de l'augmentation de la distance à la source	Si la distance est multiplié par 2, le débit de dose est divisé par 4
Période	Temps au bout duquel l'activité a baissée de moitié	
Contamination	C'est la présence d'éléments radioactifs à la surface (contamination surfacique) ou à l'intérieur (contamination volumique) d'un milieu quelconque (comme l'atmosphère, l'eau des piscines de désactivation)	La contamination surfacique non fixée (poussières ou liquides) est celle qui engendre le plus de risque.



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

RADIOPROTECTION (histoire)

RADIOPROTECTION : ESSAI TRINITY DE LA BOMBE ATOMIQUE GADGET en Juillet 1945

Visite du Maj-Gen L. GROVES et R. OPPENHEIMER sur le point d'impact de l'explosion en 09/1945 soit 2 mois après l'explosion. A l'époque on ignorait encore tout du danger des radiations et la seule protection était des couvre-chaussures.

Compte tenu de l'explosion réalisée à une dizaine de mètres de hauteur et un fort courant de vent ascendant, on crut que peu de particules radioactives retombèrent au sol. C'est faux.

Néanmoins la radioactivité de fond était de 10 x Radioactivité naturelle et la dose reçue par le personnel correspondait à : 1 heure d'exposition = $\frac{1}{2}$ la dose moyenne journalière autorisée.

La contamination mesurée à l'époque était de 7 à 10 Röntgens

Si le corps est exposé à des rayons gamma de 1 R, la dose de rayonnement sera de l'ordre de 9,3 mGy. 1 R pour des rayons gamma de 1 MeV, la dose de l'air sera de 0,8766 rad.

Le Rad est remplacé par le Gray

1 rem (Röentgen équivalent) = 0,01 Sv .

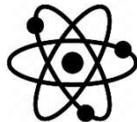
1 R dépose environ 0,96 rem dans les tissus biologiques mous.

Le rem est remplacé par le Sievert depuis 1979

En faisant court : $10 \times R = 0,1 \text{ Sv} = 10 \text{ mSv}$ soit une exposition d'une heure de 10 mSv/h

Oppenheimer (gros fumeur) est mort d'un cancer de la gorge à 62 ans.
Groves est mort d'une crise cardiaque à 73 ans.





EXPERTNUC



LES UNITES

**1**

Rayonnement radioactif

Becquerel (Bq) = 1 désintégration par seconde**2**

Absorption des radiations

Gray (Gy) = 1 J d'énergie absorbée par kg**3**

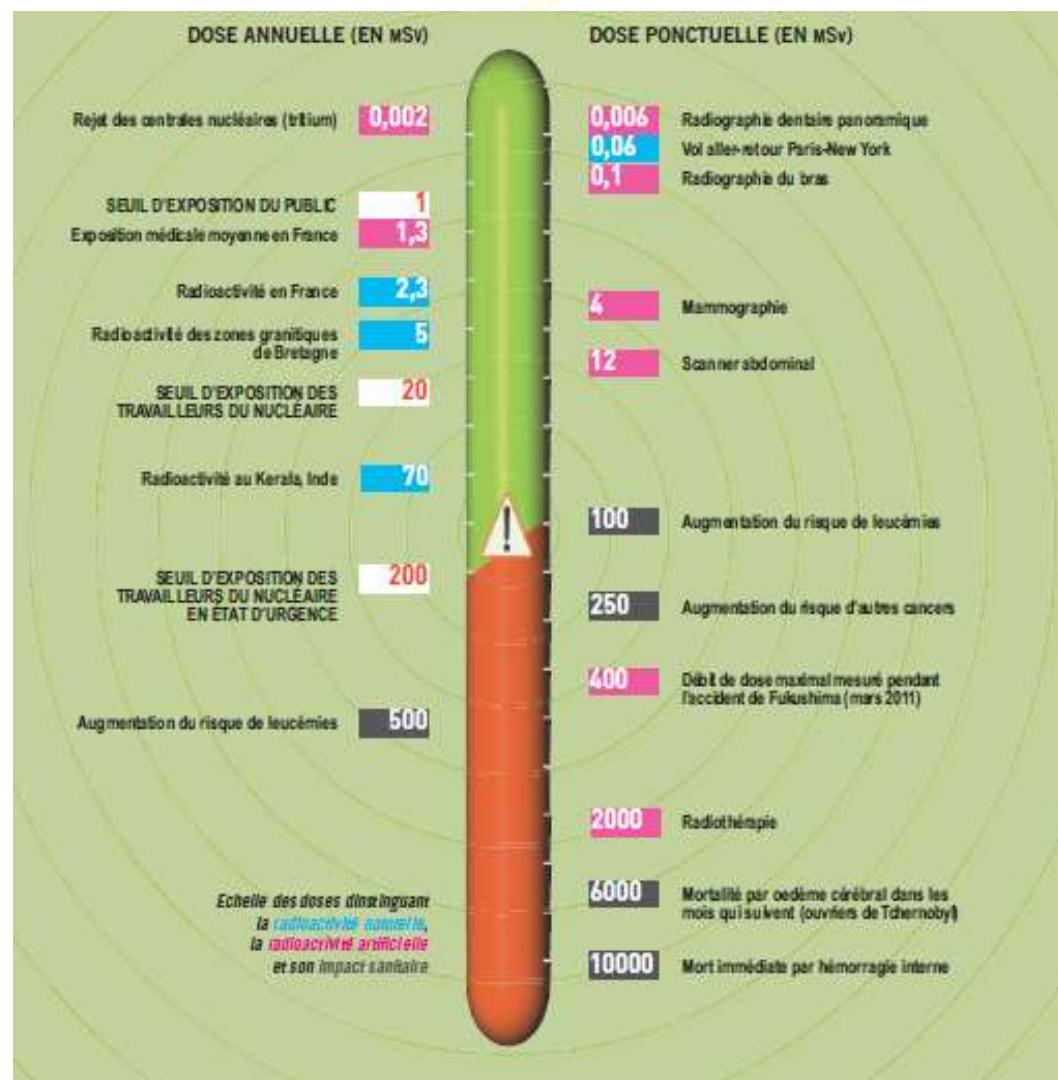
Effet des radiations

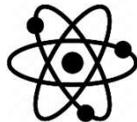
Sievert (Sv) = mesure des effets sur l'homme

ENERGIE NUCLEAIRE

RADIOPROTECTION (Résumé)

ECHELLE DES DOSES





EXPERTNUC



REEL Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

Levage & Manutention dans L'Environnement Nucléaire

Plusieurs notions

Sécurité du levage avec sécurisation de la charge en cas d'incidents. Eviter la chute de charge. Rapatriement (en un temps aussi limité que possible) en zone sécurisée.

Système chaîne fermée – Redondance

3 freins sur le levage : Service - Urgence – Secours

Contrôle Commande sécurisé (automate de sécurité) – Redondance système filaire – Redondance des capteurs mouvements (x,y,z) et charge. Différentiation. Protection Cyber.

Protection contre survitesse – Surcharge / Sous charge.

Dispositifs antisismiques (en cas de séisme, l'engin de levage doit sécuriser sa charge). Limiter les efforts sur le GC (cas du pont polaire) avec réduction des masses et introduction de dispositifs de découplage. Dimensionnement pour tenue aux séismes (calculs dynamiques)

Imperdabilité des composants (règles FME). Opérations au-dessus de la cuve ou piscines.

Protection radiologique des opérateurs. Manutention de combustibles irradiés

Protection radiologique des équipement travaillant à proximité des combustibles/déchets irradiés : Electronique durcie (équipements de vision en particulier)

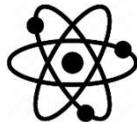
Minimiser les pièges à contamination – Peinture décontaminable

Pouvoir rapatrier l'équipement à distance (cas d'appareils de levage en cellules chaudes)

La Performance (Le cas du PMC)

Une performance au chargement / déchargement du combustible avec une base de **6 AC/heure**. Vitesses de translation et de levage sécurisées adaptées à la performance

Faciliter la maintenance . Maintenance prédictive - Accès aux composants

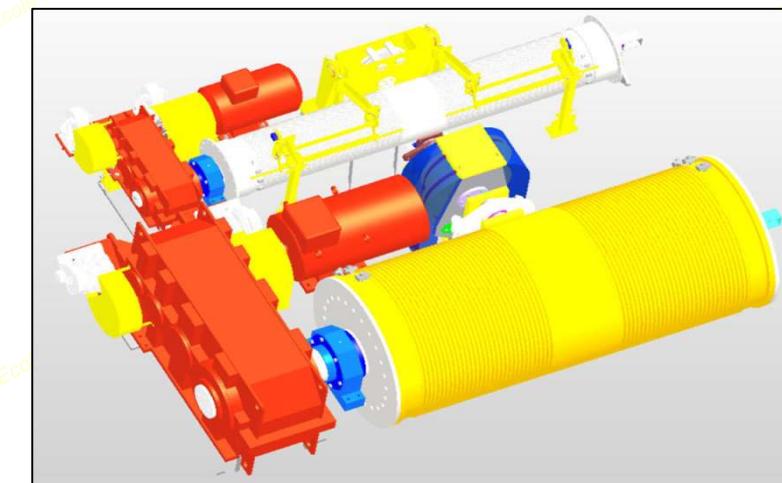


EXPERTNUC

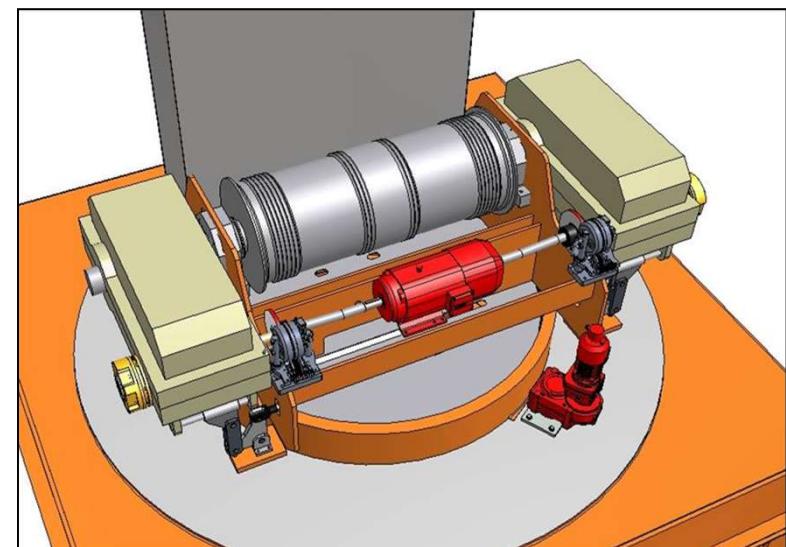


ENERGIE NUCLEAIRE

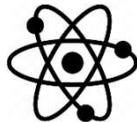
Centrales Nucléaires
Manutention



Chaine cinématique Ouverte



Chaine cinématique fermée



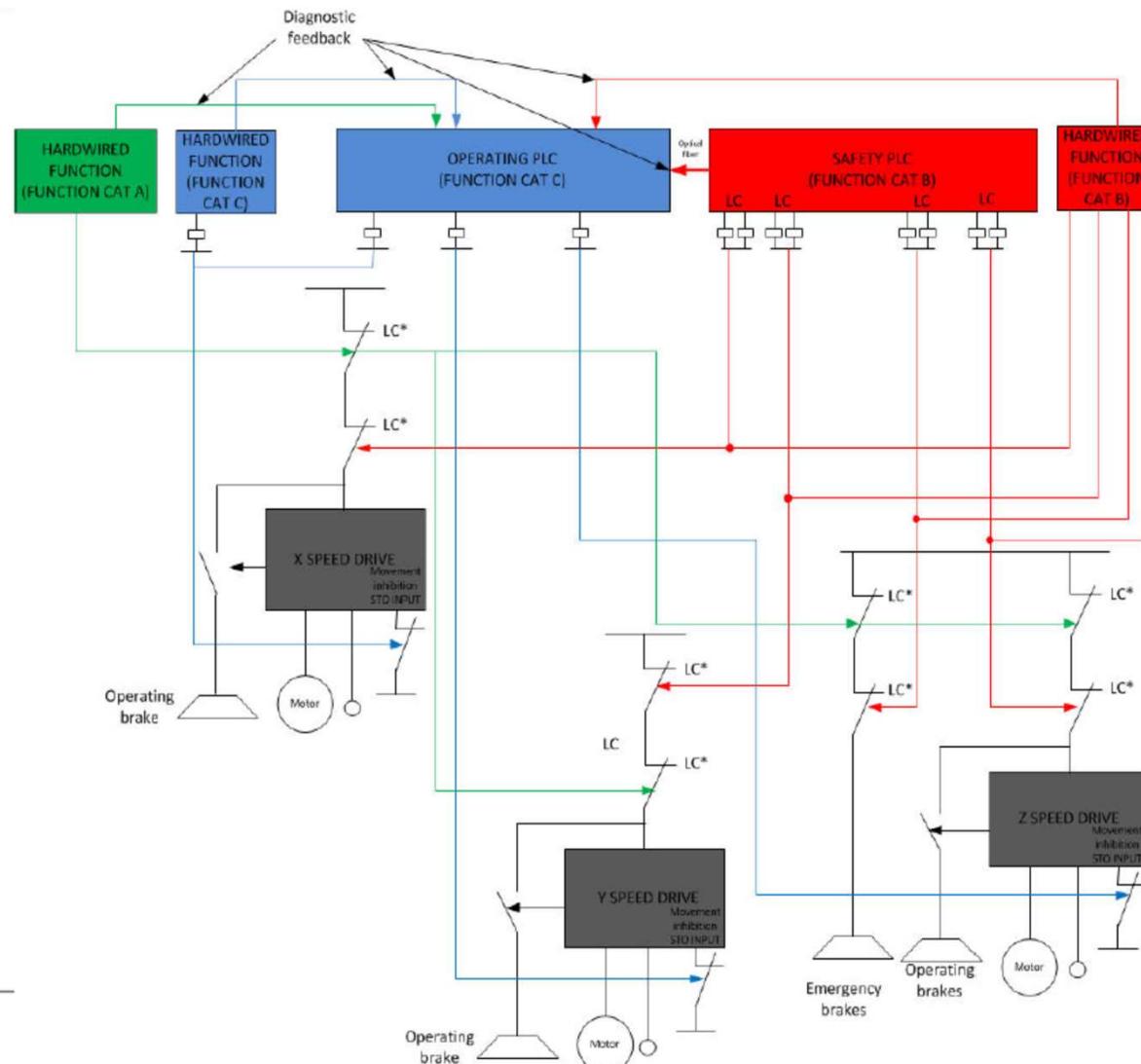
EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

Centrales Nucléaires
Machine de Chargement

ARCHTECTURE TYPIQUE DU CONTRÔLE COMMUNIQUE - EPR



Automate de sécurité

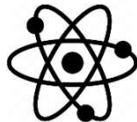
The **category A functions** will be realized only in hardwired logic. We will use:
electromechanical components
electronic modules.

The **category B functions** will be realized with a safety PLC and with hardwired logic. We will use:
electromechanical components
smart devices : absolute encoders,
radio control box
electronic modules

The **category C functions** will be realized with an operating PLC. We will use:
electromechanical components
smart devices : absolute encoders,
electronic modules.

ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES



EXPERTNUC



REEL Academy

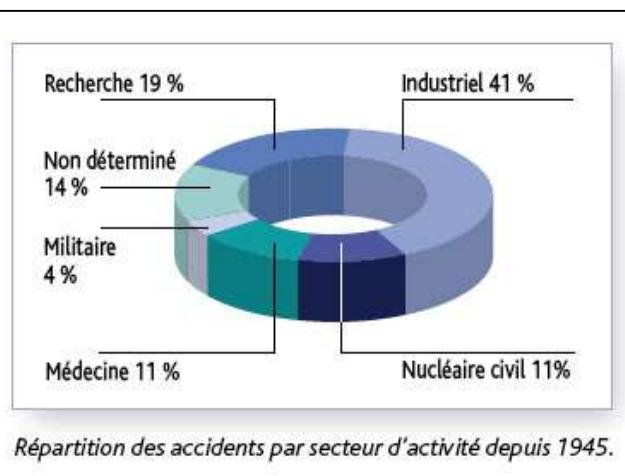
ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES

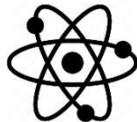
Echelle INES : Niveaux de classement des accidents nucléaires



L'accident de **Khyshtym** (explosion d'un entreposage de déchets radioactifs dans un complexe militaro-nucléaire de l'URSS) survenu en 09/1957 à longtemps était tenu secret (déclassifié en 1990). C'est le 3^{ème} accident le plus grave classé **Niveau 6**. Les conséquences sont sans doute encore sous évaluées



Centrale ou réacteur	Pays	Année	Niveau INES
Windscale	Royaume Uni	1957	5
SL1	USA	1961	5
St Laurent	France	1969	4
Lucens	Suisse	1969	4
Three Mile Island	USA	1979	5
St Laurent	France	1980	4
Tchernobyl	URSS	1986	7
Fukushima Daiichi	Japon	2011	7



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES

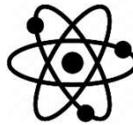
Application de l'échelle INES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

		Conséquences extérieur site	Conséquences intérieur du site	Dégredation Défense En Profondeur
7	Accident majeur	Rejet majeur Effets étendus sur la santé et l'environnement		
6	Accident grave	Rejet important - susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues		
5	Accident	Rejet limité - Susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues	Endommagement grave du cœur du réacteur / des barrières radiologiques	
4	Accident	Rejet mineur - Exposition du public de l'ordre des limites prescrites	Endommagement important du cœur du réacteur / des barrières radiologiques / exposition mortelle d'un travailleur	
3	Incident grave	Très faible rejet - Exposition du public représentant une fraction des limites prescrites	Contamination grave / effets aigus sur la santé d'un travailleur	Accident évité de peu - Perte des barrières
2	Incident		Contamination importante / surexposition d'un travailleur	Incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sûreté
1	Anomalie			Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé
0	Constat	Aucune importance du point de vue de la sûreté nucléaire		

Evénements hors échelle : Aucune pertinence du point de vue de la sûreté



EXPERTNUC

ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES



REE Academy

THREE MILE ISLAND (USA) – 28 mars 1979 – Classé 5 (risque hors site)

REP (PWR) de 906 MWe construit par Babcock & Wilcox et mis en service le 30/12/1978

Fusion partielle du cœur (point de départ : un incident sur une installation annexe du circuit secondaire puis arrêt de l'alimentation en eau des GV) – Dénoyage du Cœur.

Gaz de fission dans l'enceinte de confinement - *Explosion de l'hydrogène* au contact de l'air

Echappement de gaz rares de fission à travers les filtres de ventilation avant isolement de l'enceinte. Pas de rejet significatif d'iode ou d'aérosols

Aucune conséquence radiologique sur la population voisine.

Importance du Facteur Humain – Gestion d'un accident. (un film : « Le Syndrome Chinois ») car pas suffisamment de Retour d'Expérience sur le fonctionnement des REP

TCHERNOBYL (URSS – UKRAINE) – 28 avril 1986 – Classé 7 (accident majeur)

Tranche 4 - **Réacteur RBMK 1000** – LWGR (Light Water Graphite Reactor)

Fusion et vaporisation d'une partie du combustible avec explosion entraînant la rupture des tuyauteries de sortie vapeur et le soulèvement de la dalle de béton situé au-dessus du réacteur. Une 2ième explosion liée à une recombinaison de l'hydrogène formé par réaction de l'eau avec le zirconium des combustibles. La puissance dégagée a été multipliée par 25 en 0,3 seconde atteignant, en moins de 4 sec 100 fois la puissance normale.

Relâchement dans l'environnement d'une fraction importante de radionucléides (iodes, césum,...) et impact fort sur l'environnement (dans un rayon de plus de 30 kms). Dilution des gaz de fission dans l'atmosphère. Le nuage formé s'est déplacé jusqu'en Europe de l'Ouest.

LES PRINCIPALES CAUSES

Les Facteurs Humains :

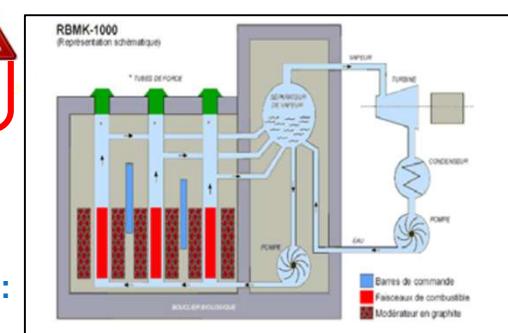
Un laxisme impardonnable

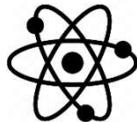
Un accident du système soviétique

- Accumulation de violations (sur ordre) des consignes de fonctionnement
- Essais à faible puissance non conformes aux procédures
- 3 suppressions (shunt) volontaires des protections automatiques du réacteur

Les critères de conception du réacteur RBMK avec 3 inconvénients majeurs :

- Réacteur instable à faible puissance et risque d'emballement (ce fut le cas)
- Pilotage manuel complexe avec 211 barres de contrôle. Vitesse d'insertion des barres insuffisante (arrêt intervenant au bout de 20 sec pour 2 sec sur les REP - Conception des barres de contrôles non adaptée à la situation).
- Absence d'enceinte de confinement (relâchement des produits radioactifs à l'extérieur).





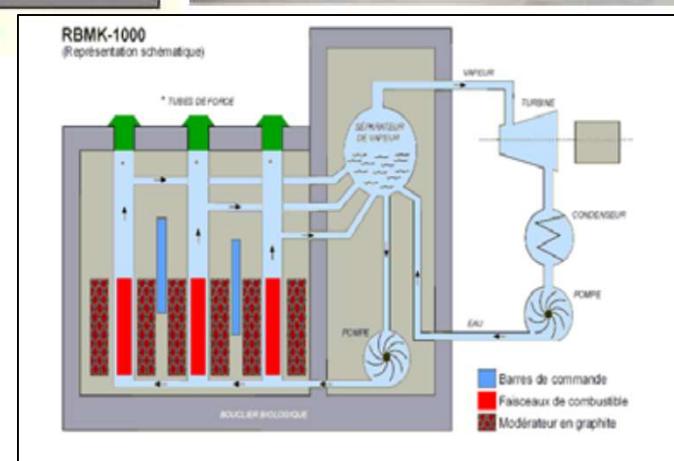
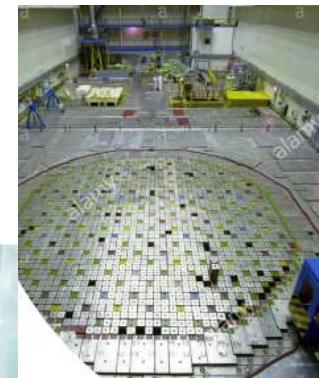
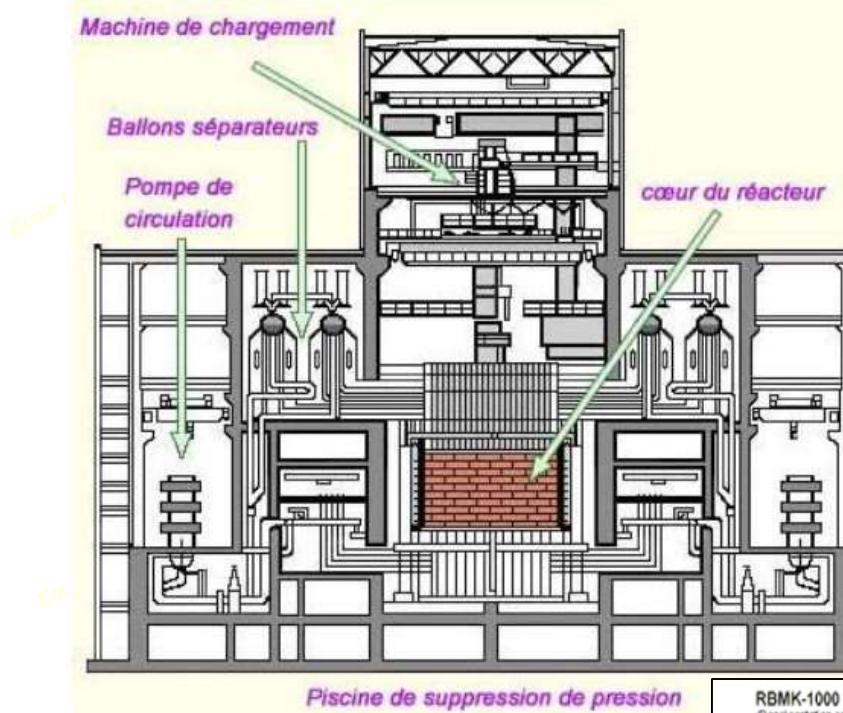
EXPERTNUC

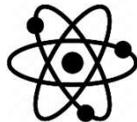


ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Tchernobyl)

Réacteur à Eau Ordinaire Modéré au Graphite (REOMG ou RBMK) :





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Tchernobyl)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

Réacteur N°4 de Tchernobyl

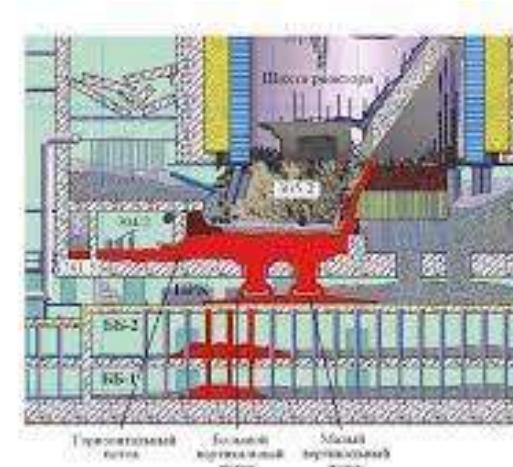
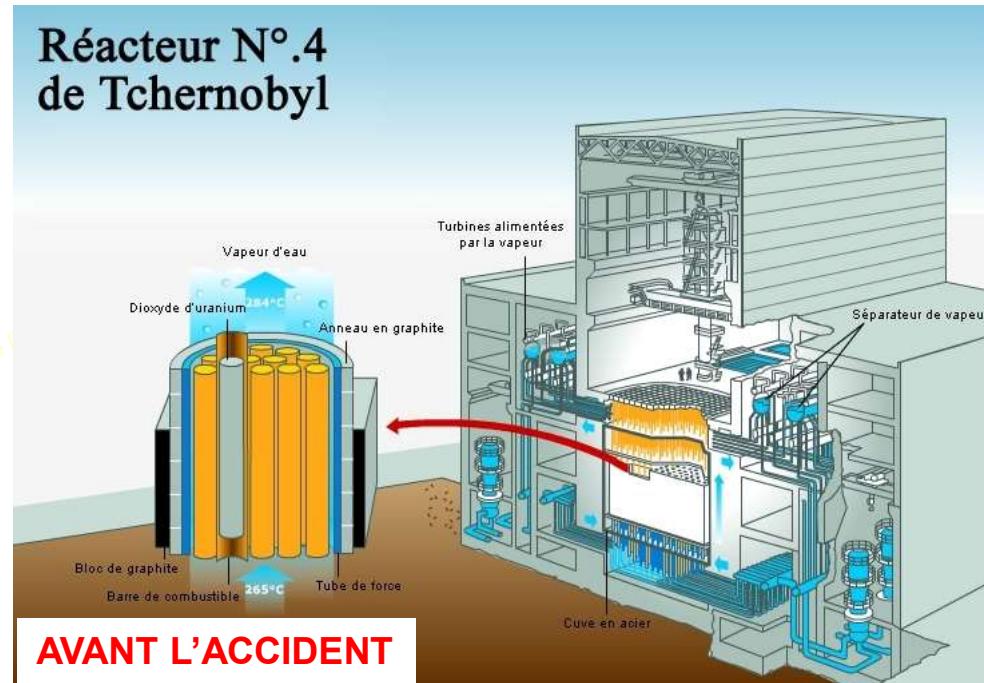
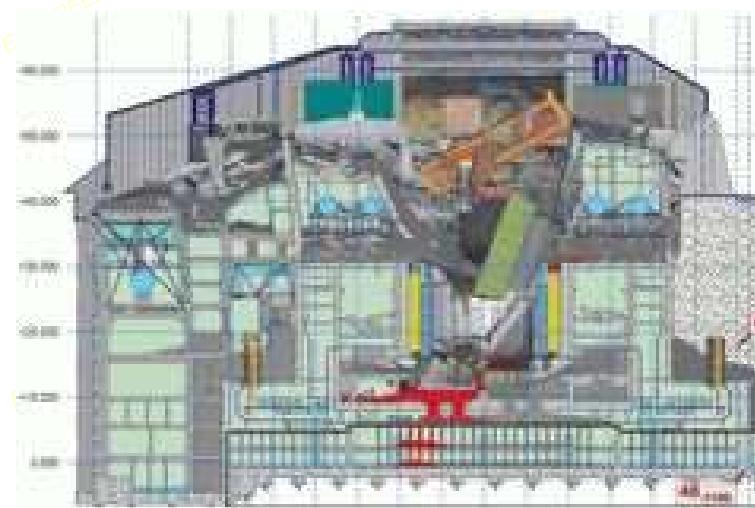
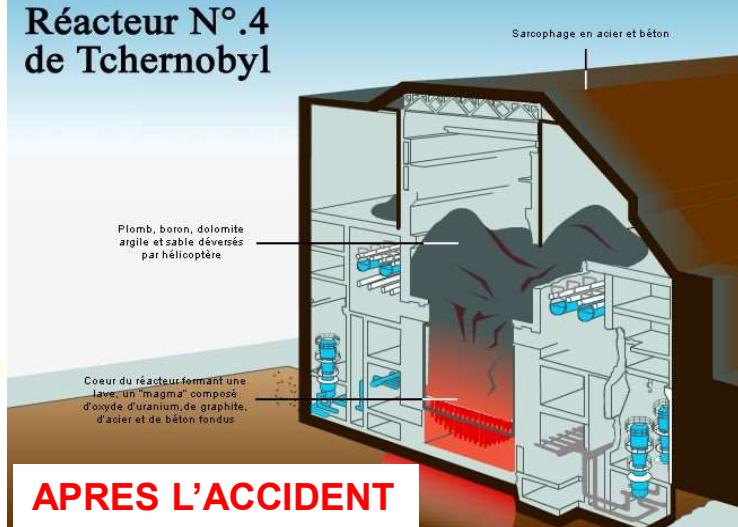
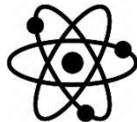


FIG. 21 : Représentation pré-schématique du réacteur no 4 lorsqu'il était en fonctionnement normal (température d'ébullition à 265°C, température de refroidissement à 264°C) et lorsque le réacteur fut démonté (température de refroidissement à 261°C, température de refroidissement à 258°C). Il illustre également l'état actuel, entre 2002 et 2008.



Réacteur N°4 de Tchernobyl





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Tchernobyl)

LA CATASTROPHE NUCLEAIRE DE TCHERNOBYL (UKRAINE)

L'accident le plus grave de l'histoire du nucléaire. *C'est toujours vrai*

Nuit du 25 au 26 avril

1986

Test de l'alimentation électrique de secours du réacteur n°4.

00h05

La puissance du réacteur devait être réduite de 1000 MW à 200 MW.

Une erreur humaine conduit à une chute de la puissance à 30 MW.

1h23 et 4 secondes

Les vannes d'alimentation de la turbine sont fermées. Housse de la pression. Baisse du débit d'eau dans le réacteur, mais des bulles se forment dans le liquide de refroidissement. Montée en puissance très rapide du réacteur.

1h23 et 40 secondes

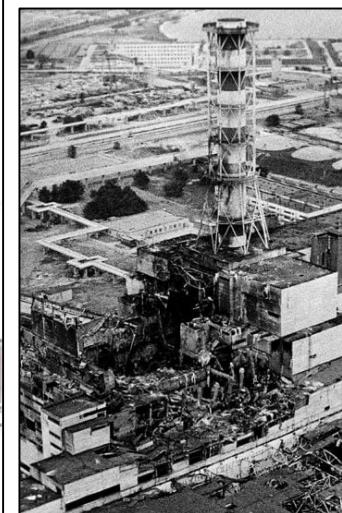
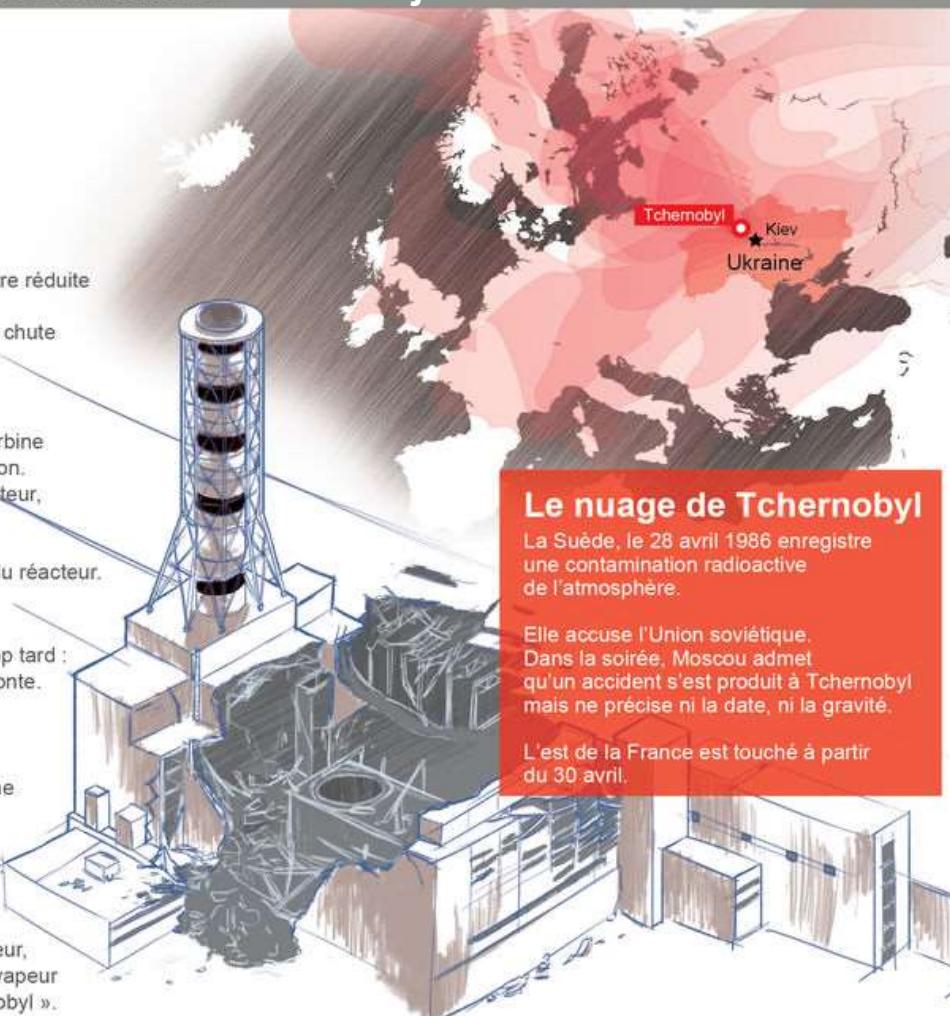
L'arrêt d'urgence est déclenché trop tard : la température dans le réacteur monte.

1h23 et 44 secondes

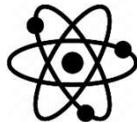
Radiolyse de l'eau : production d'un mélange détonant d'hydrogène et d'oxygène. En 5 secondes, la puissance du réacteur est multipliée par cent : il explose.

26 avril 1986

De l'eau est déversée sur le réacteur, ce qui produit un dégagement de vapeur radioactive : le « nuage de Tchernobyl ».



VISACTU



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Tchernobyl)



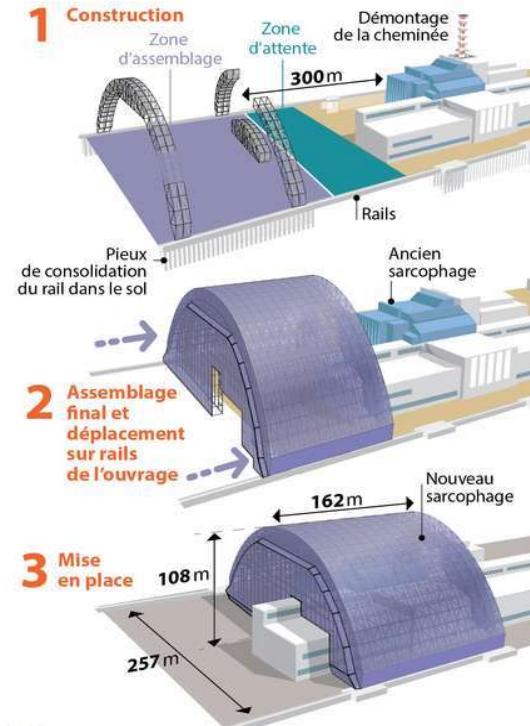
*Le premier sarcophage
(quelque peu improvisé en urgence)*



Le nouveau sarcophage financé par l'UE pour confiner le Réacteur 4. Durée de vie 100ans

Tchernobyl : la construction du nouveau sarcophage

- 2010 Nettoyage et assainissement de l'aire de montage
- Avril 2012 Début du montage de la charpente
- Avril 2014 Déplacement de la 1^{re} moitié de l'arche vers l'aire d'attente
- Octobre 2015 Connexion des 2 moitiés de l'arche
- Début 2016 Installation des équipements électro-mécaniques
- Novembre 2016 Déplacement de l'arche au-dessus de l'ancien sarcophage
- Fin 2017 Fixation de la membrane hermétique, mise en route des équipements



Poids de la charpente métallique	25 000 tonnes	Coût	1,5 milliard d'euros
Durée de vie de l'ouvrage	100 ans	Travaux	17 millions d'heures

Personnel d'encadrement	220 expatriés
-------------------------	----------------------



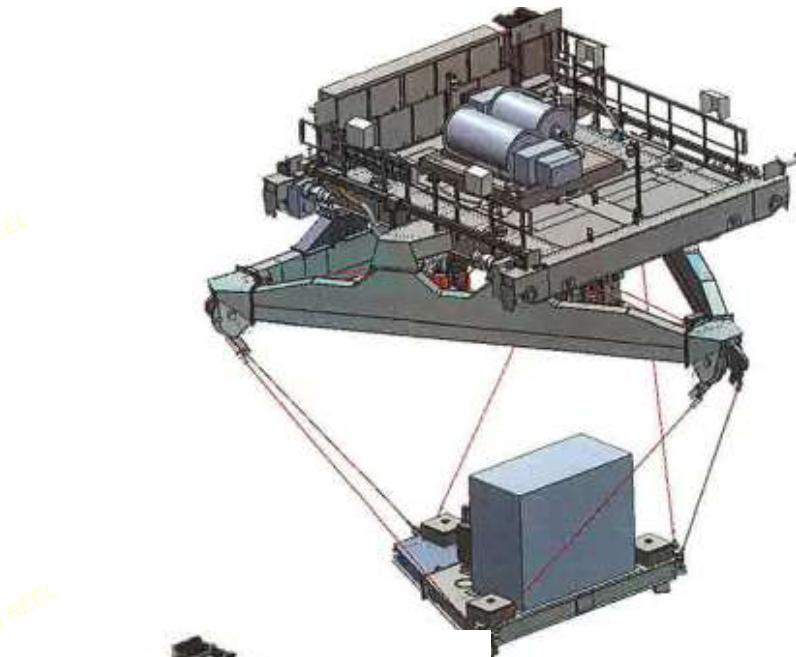
Source: Novarka / novembre 2016



ENERGIE NUCLEAIRE

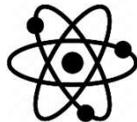
ACCIDENTS NUCLEAIRES (Tchernobyl)

SARCOPHAGE : Système de manutention conçu par PaR System



Différentes Plateformes

Manipulators 



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Tchernobyl)

Zone contaminée et d'exclusion

Zone de **26 000 km²** (rayon de 30km autour du réacteur)

Empiète d'une manière importante sur le territoire de la Biélorussie.

Villes abandonnées

La nature (flore et faune) reprend ses droits.

Après fermeture de l'arche de confinement, lui-même plus étanche, regain de radioactivité du fait qu'il n'y a plus d'infiltration d'eau et le corium s'assècherait dans certaines zones et monterait alors en température avec des réactions.

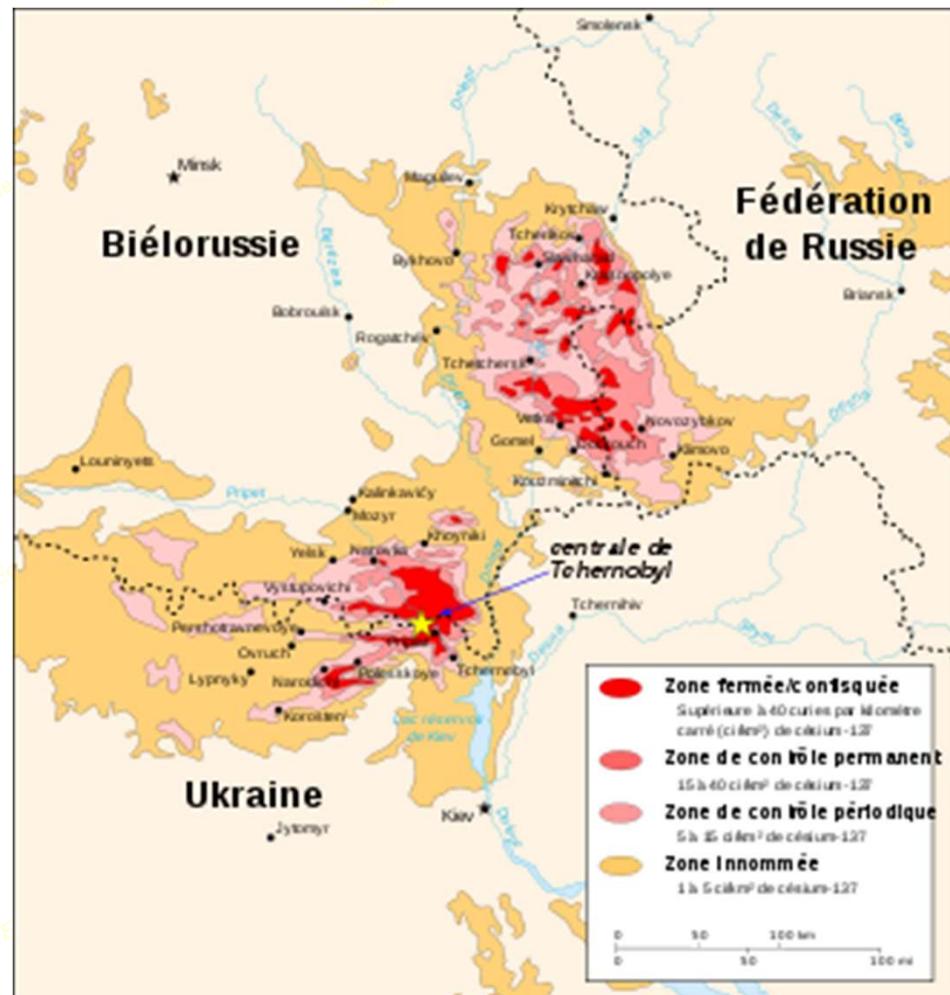
« Tchernobyl est un problème stabilisé, pas un problème résolu »

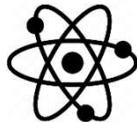
Début mars 2022 : Occupation du site par l'armée Russe en route vers Kiev. Plus de transmission des données radiologiques vers l'AIEA !

Le 8 mars 2022, plus d'électricité sur le site. Il faut continuer à alimenter le système de ventilation du nouveau sarcophage !!!!

Début avril, l'armée Russe quitte le site

ZONES CONTAMINÉES





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (David BESSE)

D. BESSE (USA) – 2002

Mars 2002, on découvre que l'acide borique a dissout localement une grande partie de l'épaisseur d'acier carbone des traversées du couvercle de cuve.

Il a été conclu que la déterioration était à 1 mois d'une possible brèche ce qui aurait pu inonder l'enceinte du réacteur en eau radioactive et causer de gros dégâts.

Ladite brèche n'était à l'évidence pas prévue dans l'analyse événementielle de sûreté du réacteur.

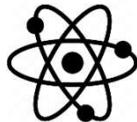
Accident classé Niveau 3. Deux ans d'arrêt avec remplacement du couvercle de cuve. **C'est le début des remplacements des couvercles de cuve.**

D'autres incidents avaient émaillés l'exploitation de la centrale :

En 1985 : 2 pompes d'alimentation des GV se sont arrêtées.

En 1988 : La centrale est atteinte par une tornade de niveau F2 (Vents de plus de 200km/h). Poste électrique endommagé et arrêt d'urgence du réacteur.





EXPERTNUC



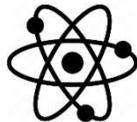
FUKUSHIMA (JAPON) – 11 Mars 2011)

ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

- Séisme de forte (9) magnitude (épicentre à 145 km)
- Arrêt automatique des 3 réacteurs en fonctionnement par insertion des barres de contrôles
- Perte de l'alimentation électrique externe (6 lignes) suite au séisme
- Les 12 groupes électrogènes se déclenchent et l'électricité est maintenue. Le refroidissement des cœurs est toujours possible mais le séisme aussi causé des dommages structurelles (tuyauterie sur le Réacteur N° 1 ?)
- **51 minutes après le séisme**, le Tsunami avec une vague de 15 m noie la centrale (Digue prévue pour une vague de moins de 6 m)
- Les groupes électrogènes de secours situés en sous-sol sont noyés et ne fournissent plus d'électricité. Dégradation des prises d'eau de mer (source froide).
- Les circuits d'ultime secours de refroidissement et fonctionnant à l'aide de batteries, s'arrêtent également après la décharge de ces batteries. C'est le black out (électrique + eau de refroidissement). Le circuit d'ultime secours n'assure plus le refroidissement des cœurs et l'évacuation de la puissance résiduelle. La température augmente dans les cœurs mais aussi dans les piscines de désactivation, en particulier dans celle du R4.
- Réaction tardive de la direction de l'exploitant TEPCO. Dépressurisation volontaire et décision d'injecter et d'asperger en eau de mer prise beaucoup trop tard (plus de 30 heures après le début de crise) avec des moyens encore trop faibles.
- Perte de contrôle, augmentation de la température (au-delà des 2000 ° C) et fusion des cœurs des Réacteurs 1 à 3. Pénétration de la cuve et le «Corium» s'écoule dans le radier (8 m d'épaisseur)
- Relâchement de produits radioactifs et d'hydrogène (réaction du zirconium des gaines et des chemises avec la vapeur d'eau surchauffée et augmentation de la température avec dégagement d'hydrogène)
- Les décompressions volontaires et nécessaires entraînent une accumulation d'hydrogène et au contact de l'air, la série d'explosions. L'eau des piscines est montée en température mais les combustibles n'auraient pas été dénoyés.
- 10 000 m³ d'eau contaminée déversée en mer
- Rejets atmosphériques des matières radioactifs importants





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

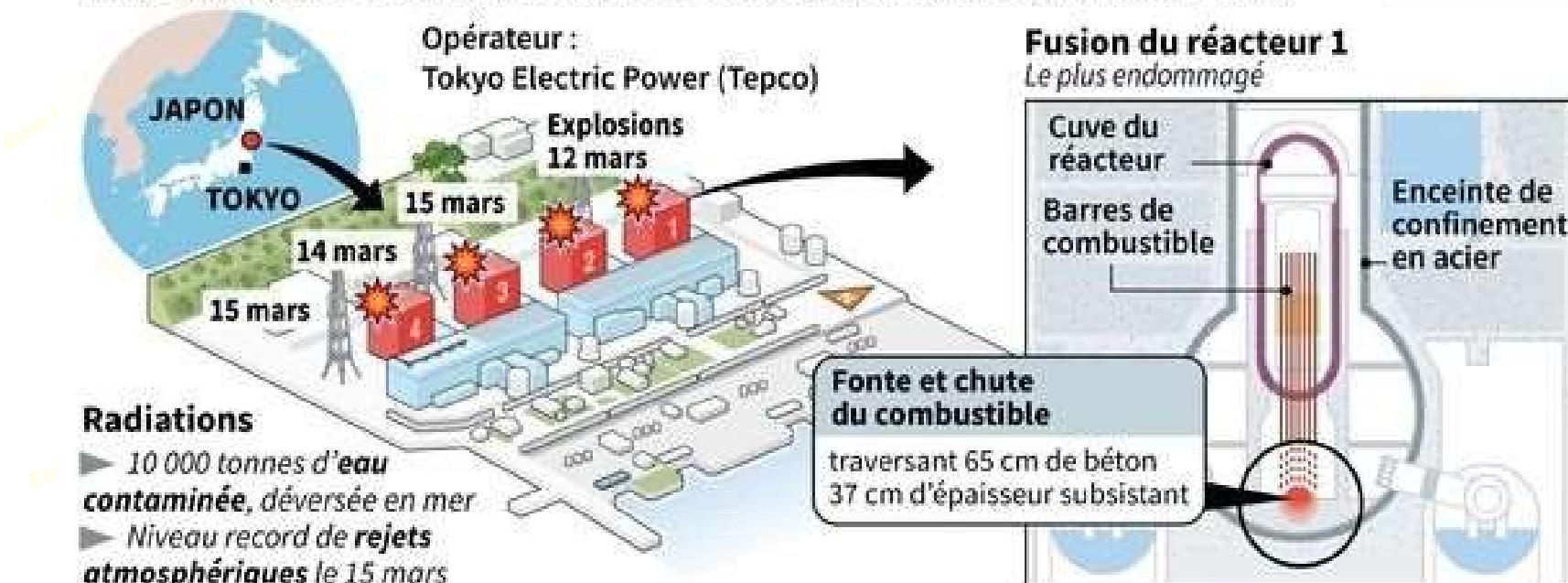
ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

La catastrophe nucléaire de Fukushima

Un accident nucléaire survenu le 11 mars 2011 après le tsunami consécutif à un tremblement de terre de magnitude 9 à 160 km de la centrale de Fukushima Daiichi



5 ans après



Aujourd'hui

- ▶ 8 000 travailleurs sur le site
- ▶ Réacteurs inaccessibles à l'homme
- ▶ + de 1 000 réservoirs géants d'eau contaminée
- ▶ Mur pour arrêter un tsunami de 15 m

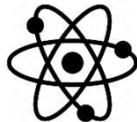
Conséquences environnementales

- ▶ mutations héréditaires
- ▶ niveaux élevés de contamination par le césium
- ▶ contamination radiologique

Démantèlement prévu sur une quarantaine d'années

Sources : TEPCO, Atmospheric Chemistry and Physics



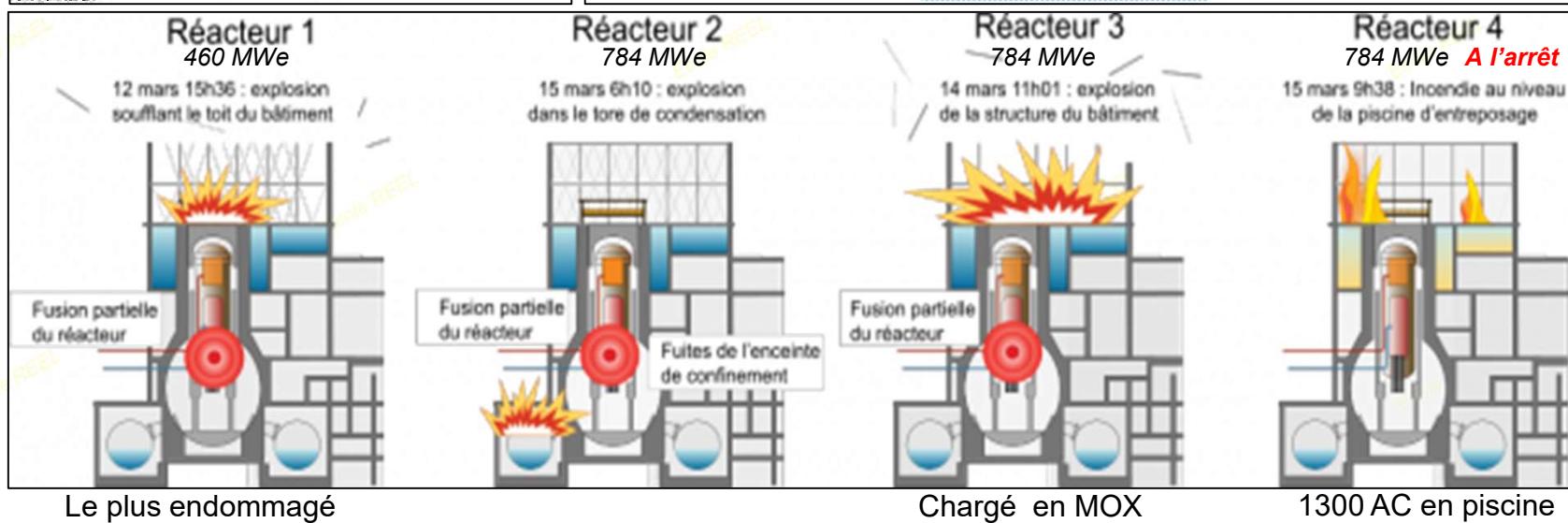
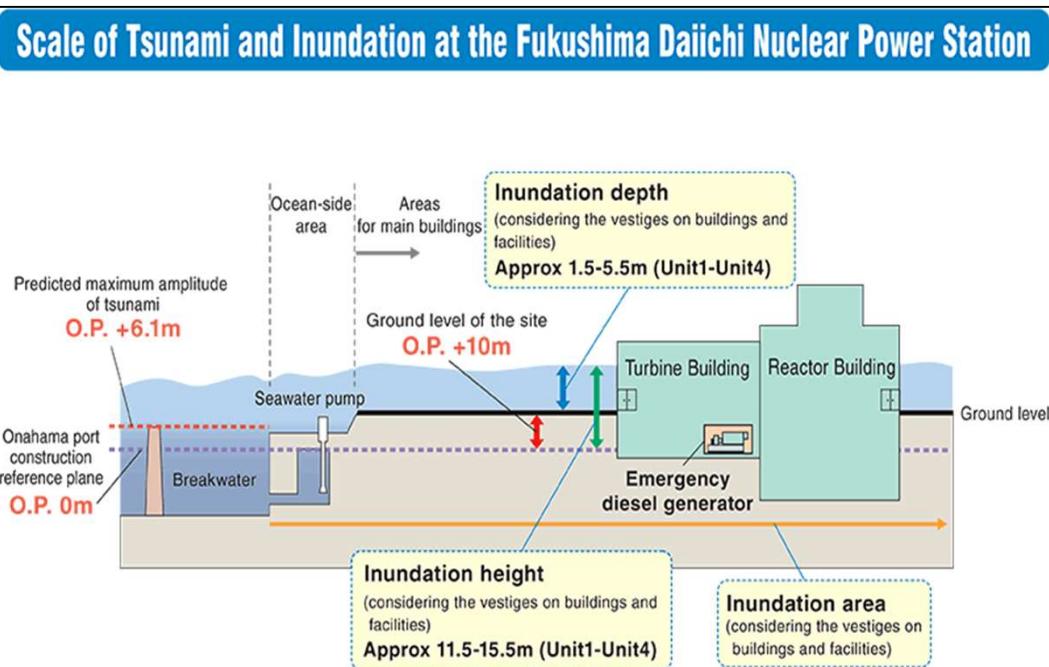
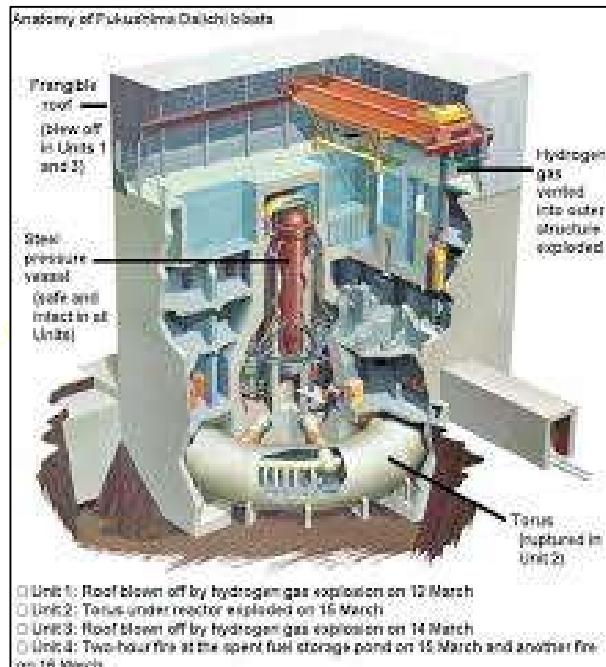


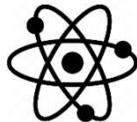
EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)



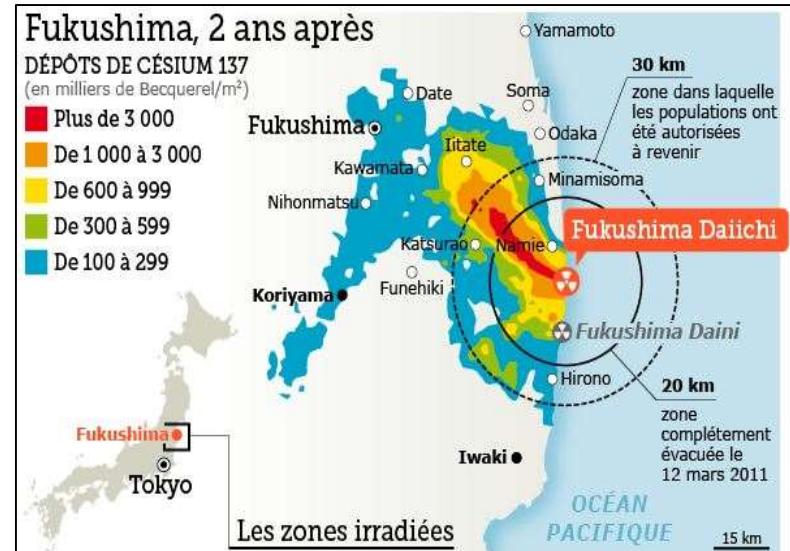
Le Tsunami (vague de 15 m de haut et propagation jusqu'à 60 km à l'intérieur des terres)



Fukushima, 2 ans après

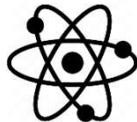
DÉPÔTS DE CÉSIUM 137
(en milliers de Becquerel/m²)

- Plus de 3 000
- De 1 000 à 3 000
- De 600 à 999
- De 300 à 599
- De 100 à 299



Détériorations dues aux explosions (R1 et R3)





EXPERTNUC



Ecole

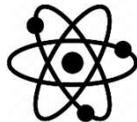
EP

E

ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)





EXPERTNUC

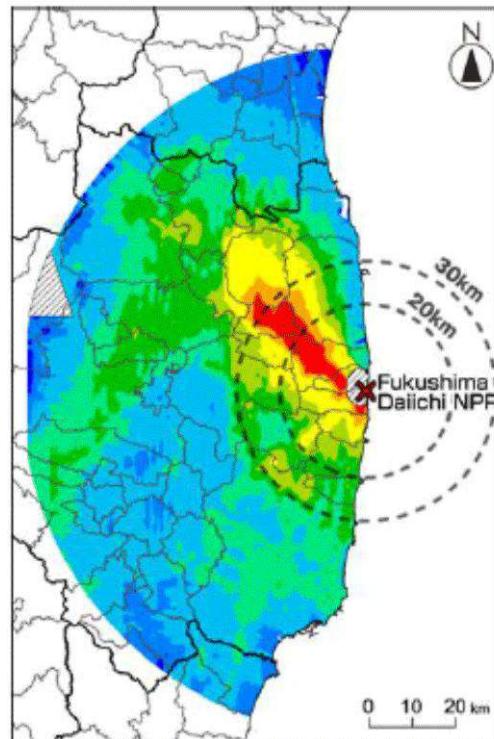


ENERGIE NUCLEAIRE

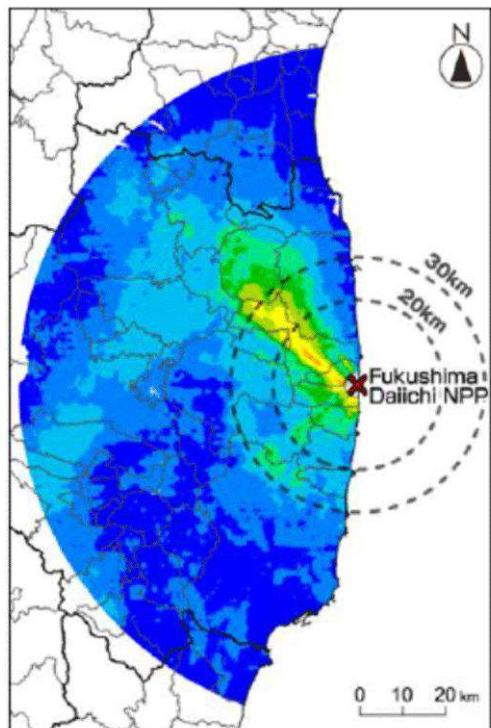
ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

ZONE CONTAMINÉE

2011



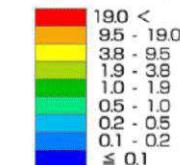
2020



> 30
mSv/an

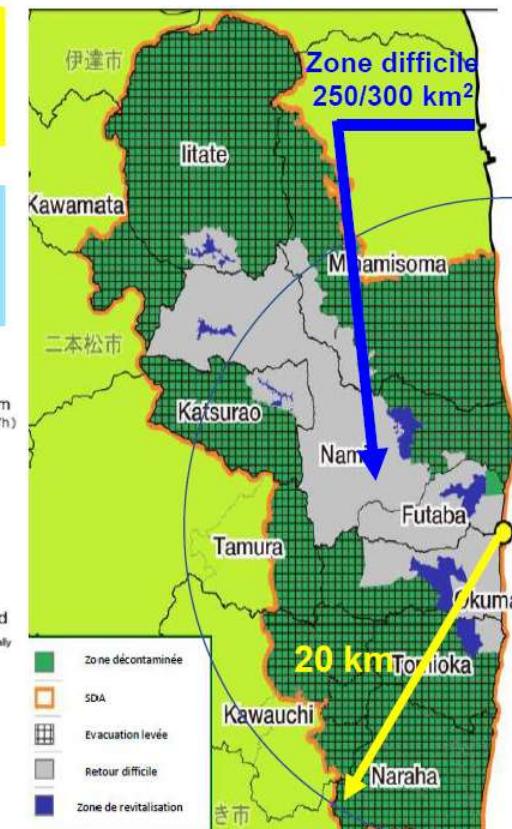
< 4
mSv/an

Legend
Air dose rates at 1m from
the ground surface ($\mu\text{Sv/h}$)



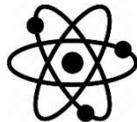
Not measured

* This map shows air dose rates partially attributable to natural radon.



Cartographie de la radioactivité

300 km² de territoire difficilement récupérables



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

LESSONS & CONSEQUENCES DE L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA

Un accident majeur **classé 7** sur l'échelle NES

La plus importante quantité de Xénon 133 jamais relâchée : 12 à 18 Ebq (exabecquerel)

Importante contamination du sol (césium 137 entre autres) sur des grande surfaces

Plusieurs plus de 150 000 personnes déplacées (L'accident **n'a fait aucun mort immédiat** mais il y a des risques collatéraux).

Contamination de la mer et nappe phréatique.

173 travailleurs ont reçu plus de 100 mSv et 6 plus de 250 mSv.
7000 personnes travaillent sur le site avec une exposition moyenne de < 50 mSv / an et < 100mSv / 5 ans.

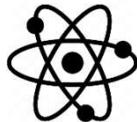
Gestion de la crise par la direction de TEPCO sujet à de vives critiques.

Un modèle de réacteur ancien conçu dans les années 60 par GE. Certaines fonctions obsolètes et un certain laxisme de l'exploitant (Direction) et des autorités de sûreté (cas de la hauteur de digue).

La sûreté non assurée (digue de trop faible hauteur – pas de recombinateur d'hydrogène - ...) et ce malgré des avertissements (AS internationales et nationale)

Un chantier de mise en sûreté, de décontamination et de démantèlement des installations endommagées avec une radioactivité dispersée qui va durer plus de 40 ans. Gestion de la contamination des zones contaminées pendant plusieurs décennies. Contrôles de la population. Accumulation de plus de 1 200 000t d'eau contaminée et stockée dans plus de 1000 citerne. Difficulté pour traiter le Tritium (**à évacuer dans la mer**)

Coût de la catastrophe : plus de **200 milliards d'euros** (annuellement revu à la hausse)



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

CONSEQUENCES de FUKUSHIMA

Arrêt de toutes les centrales au Japon. Seulement **9** réacteurs (sur les 42 pouvant être redémarrés) de retour en exploitation à **fin 2019**. Des conséquences financières exorbitantes qui freinent la croissance du Japon, croissance déjà mise à mal avant l'accident. La part du nucléaire devrait baisser sur le long terme avec une réticence accrue du public. 50 % d'électricité nucléaire au Japon : un objectif qui ne serait plus tenu. On parle de 20 à 22 % contre 30 % avant l'accident.

Nationalisation de TEPCO qui ne peu pas supporté le coût des réparations. L'état japonais assume.
(Limite de responsabilité nucléaire d'un exploitant).

Arrêt du nucléaire en Allemagne (décision politique et unilatérale de l'Allemagne – Effectif en 2022)

Arrêt du nucléaire en Italie, Suisse et Belgique (en 2025 ?)

La Chine suspend son programme de nouvelles constructions pendant 5 ans. C'est reparti depuis 2016 à un rythme soutenu (5 à 8 réacteurs par an)

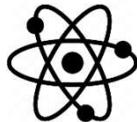
Globalement un moratoire de 3 à 5 ans sur tous les projets de centrales nucléaires.

La sûreté est revue pour tenir compte du POST-FUKUSHIMA :

- Centre de crise créé
- Systèmes d'alimentation électrique et en eau de secours revus
- Seuls les réacteurs répondant aux critères de la Génération 3 seront construit : EPR, APR1400, AP1000, Hualong 1, VVER AES 2006, ABWR)
- Requalification sismique pour tenir compte du niveau enregistré à Fukushima
- Mesure anti inondation avec surélévation des digues, positionnement des diesel de secours, renforcement de la sûreté de la source froide
- Revue des conditions accidentielles et la de la situation post accidentelle « black out »
- Revue des procédures de gestion de risque (malheureusement pas à un niveau international) - Normes et Contrôles renforcés.

Les coûts explosent et la compétitivité du nouveau nucléaire est mise à mal face aux ENR (qui voient eux leurs prix baisser)





EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

FUKUSHIMA 10 ANS APRES

Les cœurs fondus (Corium) des réacteurs R1,R2 et R3 sont au fond de l'enceinte de confinement en contact avec le radier.

Température peu élevée (30°C) qui ne nécessiterait aujourd'hui qu'un refroidissement limité avec contrôle de la température. Injection d'eau maintenue. Infiltration de la nappe phréatique sous contrôle.

561 km² dévastés et en cours de reconquête. Le sol est sacré au Japon

20 % de la population évacuée (160 000 personnes) est de retour à fin 2019

Evacuation des Assemblages Combustibles des piscines :

R4 : réalisée en 12/2014 (le réacteur étant à l'arrêt au moment du séisme)

R3 : Réalisée le 28/02/2021

R2 : Début de l'évacuation prévue entre 2024 et 2026 (très forte radioactivité)

R1 : Début de l'évacuation prévue en 2027/2028 (réacteur très endommagé et accès difficile)

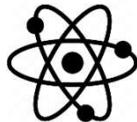
Les AC sont évacués vers la piscine centralisée n'ayant subi aucun dommage.

Plus de 1 200 000 m³ d'eau contaminée stockés sur le site dans des réservoirs inox avec bac de rétention dédié. Une grande partie de cette eau est faiblement contaminée. On pourrait la rejeter et la diluer en mer. Décision (très politique) du gouvernement pour diluer en mer prise le 13 avril 2021.

30 millions de tonnes de matériaux contaminés. Que faire ?

Il faut caractériser le corium (**880 t** sur 100 m² réparties dans 3 puits de cuve) pour une extraction possible vers 2050. Mais est-ce possible?

Ne serait-il par préférable de l'isoler et de le « bunkériser » à vie !!!



EXPERTNUC

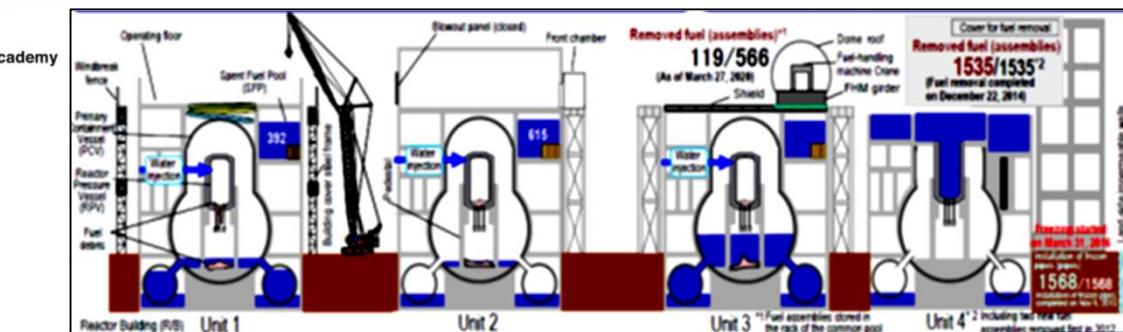


ENERGIE NUCLEAIRE

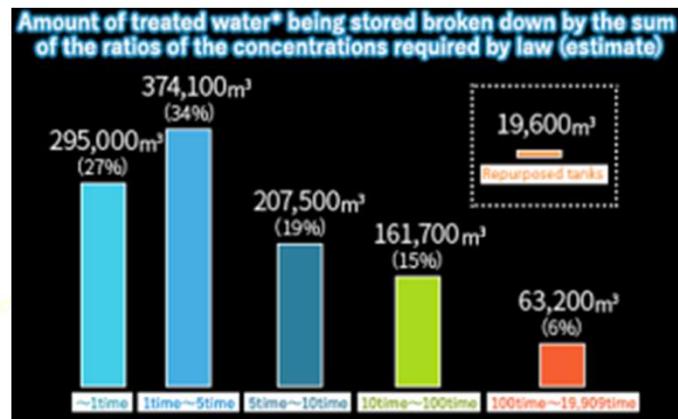
ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Stockage de l'eau en surface



Concentration des radionucléides en Bq/L

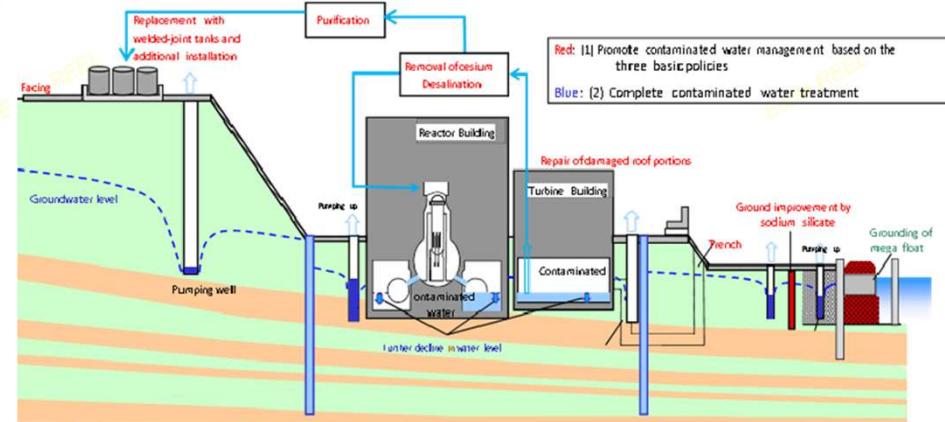
Niveau d'eau dans les réacteurs

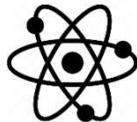
Ecole REEL

Ecole REEL

TEPCO juin 2020: Protéger les eaux souterraines et la mer

- En amont réduire le débit dans la nappe phréatique
- En aval prélever les eaux, les traiter avant rejet en mer
- Autour des 4 réacteurs construction d'un sarcophage souterrain
- Réduction du débit des eaux contaminées:
 - De 540 m3/jour en Mai 2014 à environ 170 m3/jour en 2019
 - De 150 m3/jour en 2020/2021 à 100 m3/jour ou moins en 2025





EXPERTNUC



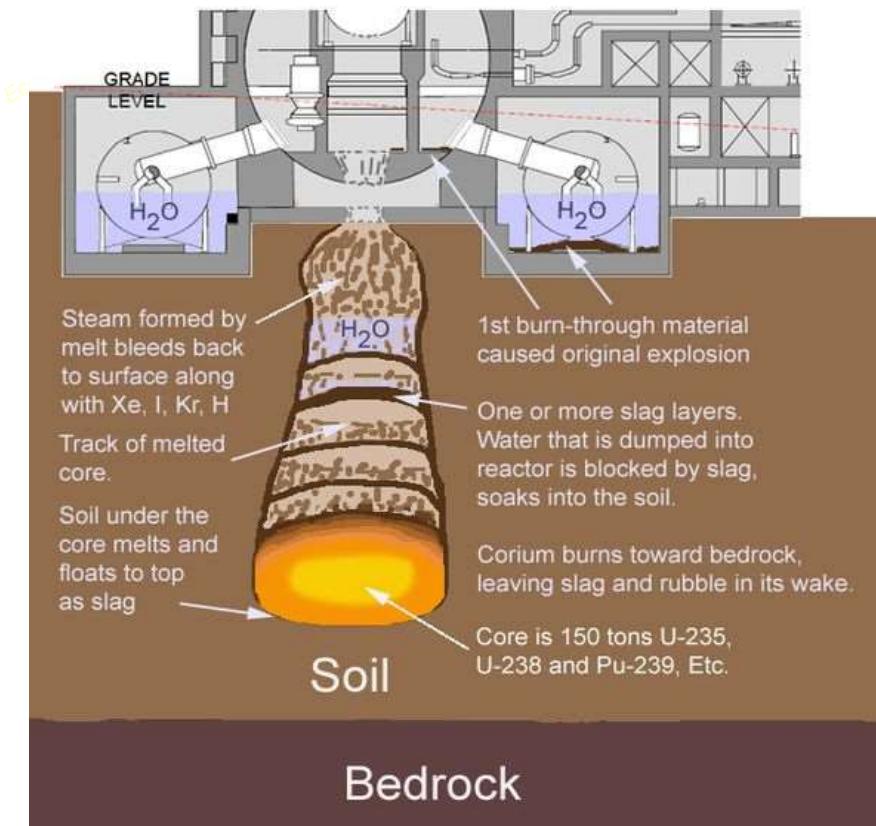
ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

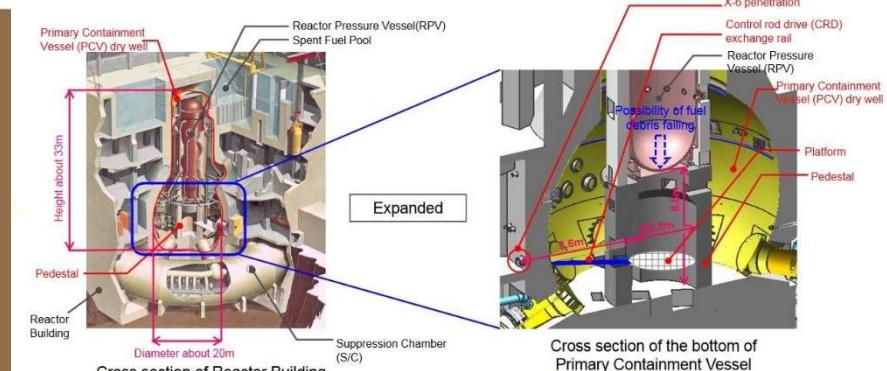
En est-on là ? Sur combien des 3 réacteurs où le cœur à fusionner et percé la cuve ? Comment récupérer le corium qui est formé de multiples matériaux : Béton, socle de la centrale, acier de la cuve, alliages des combustibles, ,..... ?
Investigations sur le Réacteur N°2

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

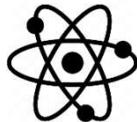
03/09/2024 JY PERON



CORIUM = contraction de CORE + URANIUM



Le Corium du réacteur de Tchernobyl n'a jamais été récupéré



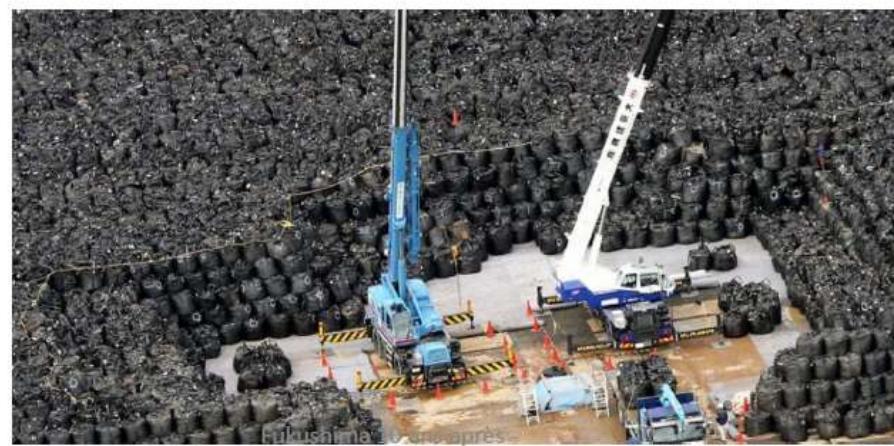
EXPERTNUC

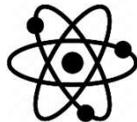


ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)

Des volumes considérables de déchets de faible activité avec le décapage des couches superficielles du sol mais des risques limité et gérables malgré les volumes. Plan de rejet des eaux stockées (**1,3 millions de tonnes**) dans l'eau de mer (à 1 km des côtes et 12 m de profondeur après dilution d'un facteur 1000) approuvé par l'AIEA. Niveau de Tritium des eaux rejetées à **1500 Bq/l** (le seuil pour l'eau potable fixé par l'OMS est de 10000Bq/l. Cela représente 3 grammes de Tritium dans un océan pacifique qui abrite déjà 8400 grammes de Tritium. Début des rejets le 23/08/2023 pour une durée de 30 à 40 ans .
La demi-vie du Tritium (isotope de l'Hydrogène) est de 12 ans.





EXPERTNUC



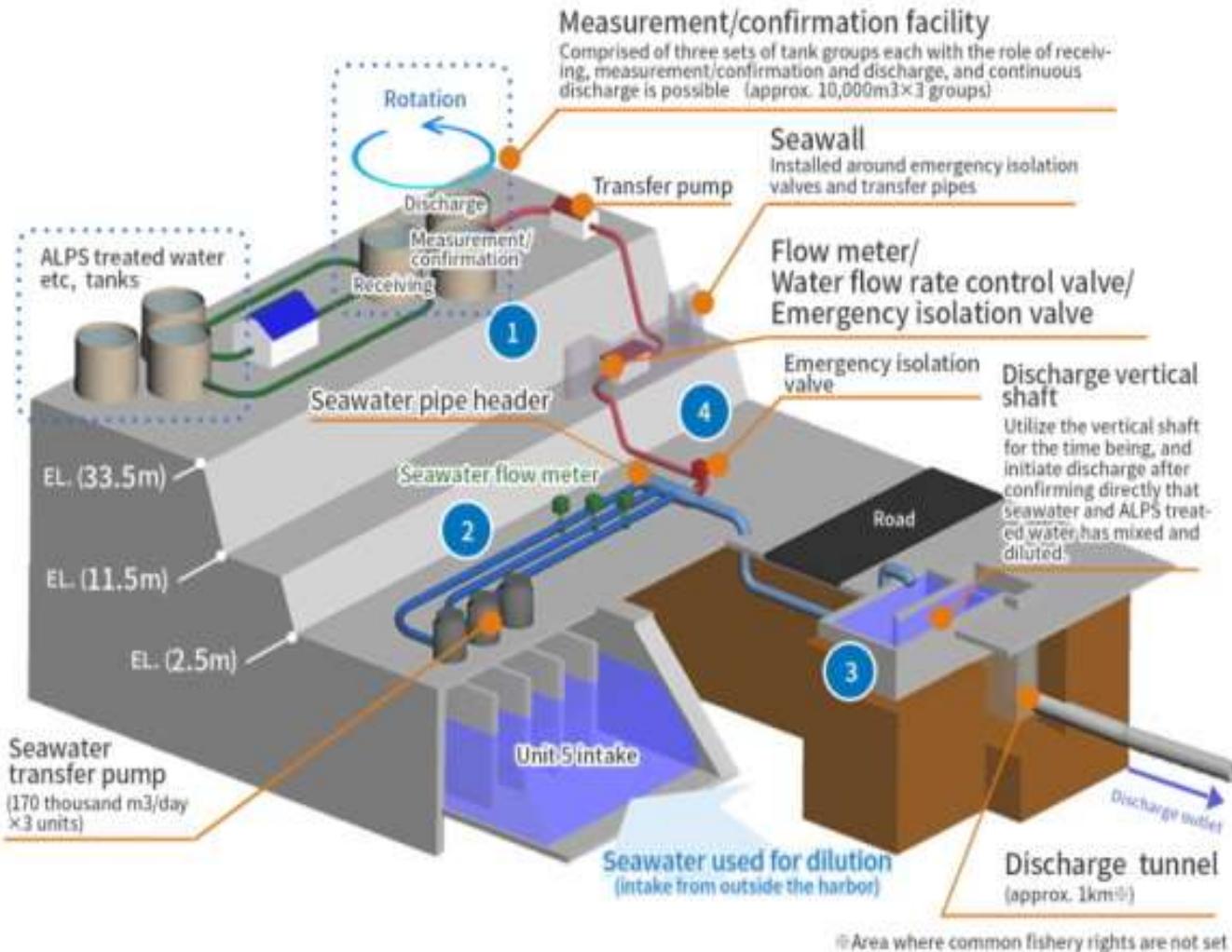
Ecole F

Eco

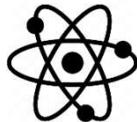
Ec

ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES (Fukushima)



Area where common fishery rights are not set



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

ACCIDENTS NUCLEAIRES

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON

THREE MILES ISLAND

(1979 - USA)

Manque de maturité de la filière REP. Insuffisances de conception
2 défaillances matérielles
3 erreurs humaines

Présence de l'enceinte de confinement

Fusion partielle du cœur
Réaction exothermique
zirconium- eau. production de H₂

Faibles rejets sur quelques heures

Confusion de la population et recommandations contradictoires
Panique

0 décès immédiat

0 décès différé

0 morbidité induite

Arrêt de la filière nucléaire aux USA pour les 30 ans à venir !

TCHERNOBYL

(1986 - Ukraine / URSS)

Faiblesses de conception
6 erreurs humains graves
3 non respect volontaire
des règles de conduites +
3 inhibitions volontaires de systèmes de sûreté
Le système soviétique

Absence d'enceinte de confinement (RBMK)

Explosion du cœur
Incendie du graphite

Rejets continus pendant 10 jours

Rejets sur toute l'Europe (le fameux nuage)
Contaminations au sol

270 personnes évacuées

50 décès immédiats

7000 cancers thyroïde

9000 cancers potentiels ?

Augmentation de la morbidité dans la population et abandonnée.

FUKUSHIMA

(2011 - Japon)

Réacteurs BWR de conception ancienne avec des insuffisances
Perte totale de la source de refroidissement du cœur à l'arrêt
Résistance au séisme (8,9)
Enceinte de confinement
Réaction héroïque des opérateurs

Fusion partielle de 3 cœurs.

Réaction exothermique
Zirconium- Eau et production d'H₂

Explosion H₂ dans trois BK

15 rejets discontinus sur 2 semaines

Contamination sur 250 km (600 km²), sol et denrées alimentaires

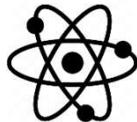
150 000 personnes évacuées

0 décès immédiat

Pas de décès différée

1000 décès dans l'évacuation de la zone (parmi les 30000 décès liés au séisme + Tsunami)

Augmentation de la morbidité .
Pénurie d'électricité . Un nombre de Morts de froid ?



EXPERTNUC



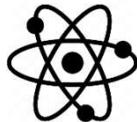
Une contamination au sol de 1MBq/m² en Césium 137 entraîne un débit de dose de l'ordre de la dizaine de mSv par an (1 césium 137 entraîne un débit de dose de l'ordre de la dizaine de mSv par an (1,5 à 4 μ Sv/h) pour une personne qui y serait exposée en permanence. Une contamination de 15 Curies par km² (15 Ci/km²) en césium 137 (soit 555 kBq/m²) occasionne une dose externe d'environ 4 mSv/an, auxquels il faut ajouter la part de **contamination interne** provenant des produits utilisés dans la chaîne alimentaire, doublant en moyenne cette

Le seuil de référence édicté par l'Union Européenne en dessous duquel une exposition à des rayonnements est en pratique négligeable du point de vue de la protection contre les rayonnements et n'impose pas de déclaration est de **1 μ Sv/h**. Ce seuil est du même ordre de grandeur que la dose annuelle limite au-delà de laquelle il est réglementairement interdit d'exposer le public. Ce seuil (pour lequel une surveillance de radioprotection devient justifiée) est lui-même très inférieur au débit de dose à partir duquel un effet nocif sur la santé peut être mis en évidence, qui est de cent à mille fois plus élevé.

Un débit de dose « non négligeable » n'est donc pas nécessairement dangereux pour autant. Le becquerel mesure la désintégration d'un atome unique chaque seconde, une radioactivité mesurable peut être le fait de traces chimique à peine détectables par ailleurs. A titre de comparaison, la radioactivité naturelle d'un corps humain (due principalement au potassium 40 contenu dans les os) est de l'ordre de 8000 becquerels pour une surface de peau de l'ordre de 2 m².

Face à une zone présentant une forte contamination au sol, l'autorité administrative se trouve donc très souvent dans la situation de devoir interdire l'accès de la zone au public, parce que le débit de dose radioactive dépasse la limite légale fixée pour l'exposition du public (de l'ordre du μ Sv/h) alors même que ce débit de dose reste très en dessous des valeurs qui seraient potentiellement dangereuses pour un résident permanent (de l'ordre de quelques centaines de μ Sv/h) et encore plus inférieurs aux débits de dose pour lesquels même un séjour de l'ordre de quelques heures peut commencer à présenter un risque stochastique statistiquement observable (de l'ordre de 10 à 100 mSv/h).

ACCIDENTS NUCLEAIRES



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

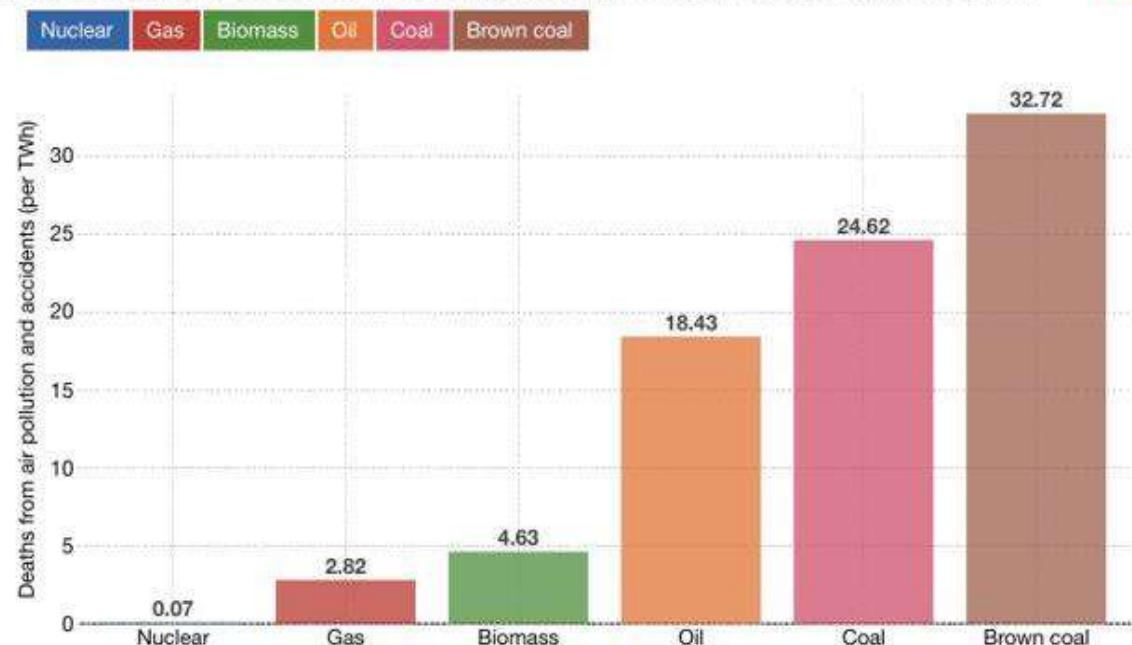
ACCIDENTS NUCLEAIRES

Le nucléaire est néanmoins une énergie sûre quand on rapporte le nombre de victimes au cours des 60 dernières années d'exploitation de réacteurs au nombre de TWh produits.

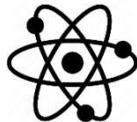
Nombre de décès :

- Liés aux accidents lors des phases d'extraction, transformation et production d'énergie
- Ceux découlant de la pollution de l'air (utilisation des différents combustibles)
- Ceux résultant des conséquences du changement climatique

Death rates from energy production per TWh
Death rates from air pollution and accidents related to energy production, measured in deaths per terawatt hours (TWh)



Our World
in Data



EXPERTNUC



La Responsabilité Civile Nucléaire (**RCN**) est du ressort de l'exploitant. Néanmoins, il faut bien comprendre qu'un accident de niveau 7 (Tchernobyl et Fukushima) ne peut pas être de la seule responsabilité de l'exploitant car le préjudice financier de telles catastrophes dépassent très largement les capacités financières d'un exploitant responsable. Les Etats concernés en prennent la responsabilité.

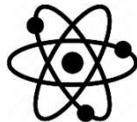
Cette responsabilité est régie par des Conventions avec des limites pour les exploitants..

Ce 1^{er} Janvier 2022 et 18 ans après leur adoption, sont entrées en vigueur les protocoles d'amendement des **Conventions de Paris** (16 Etats) et son complément de la **Convention de Bruxelles** (13 de ces 16 Etats). Les protocoles régissent la responsabilité civile des exploitants nucléaires en cas d'accident. Il y a aussi la **Convention de Vienne** (43 Etats dont 10 nucléaires) avec son complément **CRC** (11 Etats)

Les protocoles d'amendements des conventions de Paris et de Bruxelles avaient été signés le 12 février 2004. Le régime est fondé depuis plus de 60 ans sur les principes suivants :

- **Canalisation de la responsabilité sur l'exploitant** de l'installation Personne d'autre que lui ne peut voir sa responsabilité engagée au titre de dommages résultant d'un accident nucléaire. L'Exploitant peut, dans certaines conditions et seulement après que les victimes ont été indemnisées, exercer un recours contre les fournisseurs qui serait à l'origine de l'accident.
- **La responsabilité objective ou sans faute de l'exploitant**. Les victimes sont dispensées d'apporter la preuve de la responsabilité de l'exploitant
- **La limitation de la responsabilité de l'exploitant**. Montant fixé par des conventions internationales et pouvant être complété par des contributions de l'Etat où se trouve l'installation voire d'autres Etats qui sont unis pour supporter. Elle est de **700 M€** par installation et par accident et **80 M€** pour les accidents de transport de substances radioactives. S'y ajoutent la contribution de l'Etat où se trouve l'installation soit **500 M€** et celles des Etats parties de la convention de Bruxelles soit **300 M€**. Les fonds disponibles pour l'indemnisation des victimes d'un accident nucléaire s'élève donc à **1,5 Md€**.
- **Limitation de l'exploitant dans le temps** : 30 ans
- **L'unicité de compétence juridictionnelle** : Tribunaux de l'Etat sur le territoire duquel est survenu l'accident

Il y a aussi un élargissement des catégories de dommages : **Dommages immatérielles**, le coût des mesures de restauration d'un environnement dégradé, les manques à gagner en lien avec l'utilisation de l'environnement ...



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

Centrale dans la guerre LE CAS DE L'UKRAINE

La Centrale de ZAPORIJIA (ZAPORIZHE)

La plus grande centrale d'Europe. Elle est située sur les berges du réservoir de Kakhovka alimenté par le Dnierp (rive gauche).

6 Réacteurs VVER-1000 / 320 pour un total de 5700 MWe

Réacteurs mis en service de 1985 à 1989 puis le dernier en 1995 (après la dislocation de l'URSS et l'indépendance de l'Ukraine)

20 % de l'électricité produite en Ukraine (38 Md kWh/an)

Un centre d'entreposage à sec de combustibles usés. Plus de 4000 combustibles entreposés. Avec les piscines réacteurs (dans l'enceinte de confinement) ce serait l'installation la plus critique du site.

C'est la première fois qu'une centrale nucléaire est bombardée.



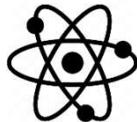
Sous contrôle de l'Armée
Russe depuis le 4/03/2022 matin
après un bombardement sur
des bâtiments administratifs.

Status de la Centrale en 11/2023

- Réacteur 1 : en arrêt froid
- Réacteur 2 & 3 en arrêt froid
- Réacteur 4 : en cours d'arrêt (refroidissement en cours)
- Réacteurs 5&6 : en arrêt froid

La centrale est proche du Front Sud. Echappera-t'elle aux combats futurs ? Dernier bombardement proche en 11/2023.

Une installation de recherche
produisant des isotopes (le
Kharkov institutes de Kharkiv) a
été endommagé par les
bombardements.



EXPERTNUC

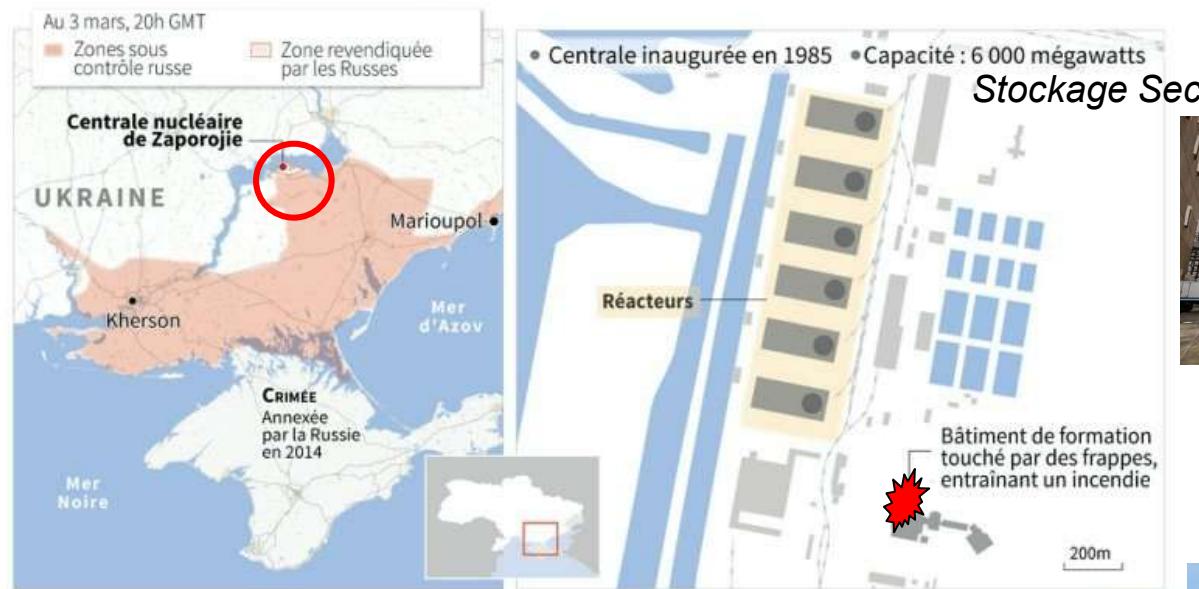


ENERGIE NUCLEAIRE

Centrale dans la guerre LE CAS DE L'UKRAINE

La centrale nucléaire ukrainienne de Zaporozie

La plus grande centrale nucléaire d'Europe, occupée vendredi par l'armée russe, a été touchée dans la nuit par des frappes d'artillerie qui ont provoqué un incendie, sans fuite radioactive détectée



4 groupes diesel électrogènes de secours dont 1 bunkerisé - 3 circuits de refroidissement du cœur.

En tout, 20 groupes électrogènes sur le site.

Modernisés au cours des dernières années

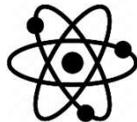
Combustible Russes (TVEL) et US (Westinghouse)

Entreposage à sec intérimaire (SFDSGF^{temporaire}) Capacité : 9000 AC) depuis 08/2004 :

Châteaux de Sierra Nuclear Corporation (SNC) type VSC-24 (panier métallique + conteneur béton).

A date : 167 châteaux sur site (plus de 4000 AC).





EXPERTNUC



REEL Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

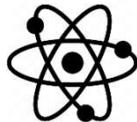
Centrale dans la guerre LE CAS DE L'UKRAINE



Attaque d'un bâtiment administratif(centre de formation avec le simulateur de conduite) à moins de 500 m du réacteur N°1. Incendie maîtrisé par les pompiers du site



Zone d'entreposage à sec des combustibles usés. Châteaux VSC-24 99



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

Centrale dans la guerre LE CAS DE L'UKRAINE

Réacteur VVER -1000 modèle 320 (Génération 2 avancée comme le N4 et le Konvoi)

Puissance thermique (MWt)	3000
Puissance électrique (MWe)	960
Nombre d'AC dans le cœur	163 (pas du réseau 241 mm)
Nombre de grappes	61
Masse d'uranium (3,5 à 4,5 % enrichi)	79,9t
Boucle primaire	4
Enceinte	Béton 1,2 m (Dôme 1,1m) + peau métallique intégrale
Système de sauvegarde	3 trains redondants avec :

- Système alimentation de secours des GV (500 m³ + Pompe)
- Système d'injection de sûreté
- Système d'aspersion de l'enceinte
- Système de borication d'urgence

Piscine de stockage à l'intérieur de l'enceinte
4 groupes Diesel électrogènes dont 1 bunkerisé

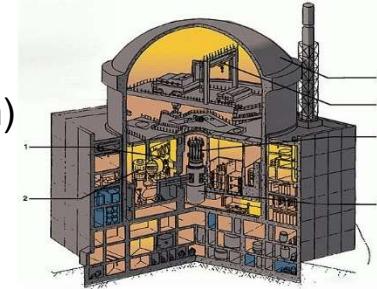
Recombineurs à H₂ passifs

Système de ventilation filtrée

Durée de vie étendue à 50 ans
après stress tests post
Fukushima

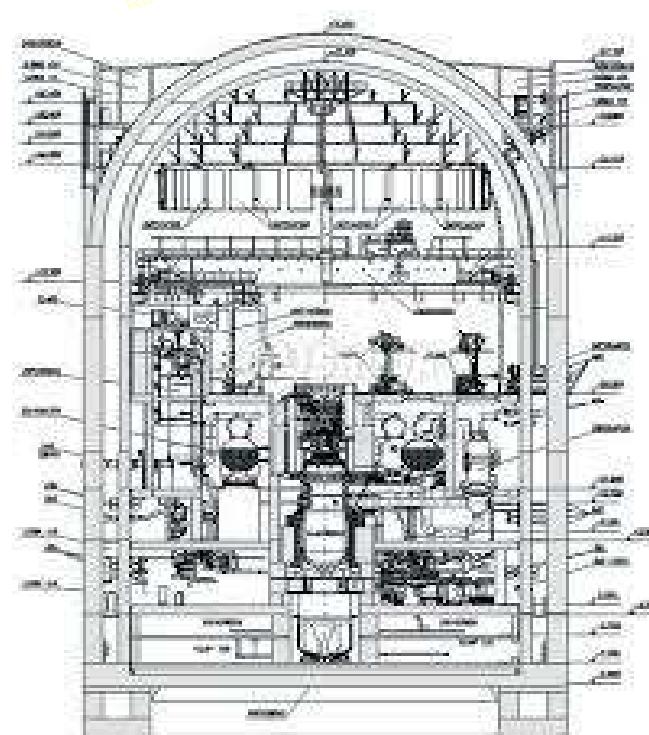
25 en exploitation dont
11 en Ukraine

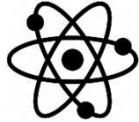
Quelques références :
Rostov, Bolakovo,
Kalinine (Russie),
Temelin (Tchèquie),
Buchehr (Iran),
Zaporijia (Ukraine)



Legend :

1. Châssis de vapeur horizontal
2. Pompe de refroidissement du réacteur
3. Escalier de confinement
4. Barres de moderator du combustible
5. Barres de contrôle
6. Cuve du réacteur





EXPERTNUC



Eco

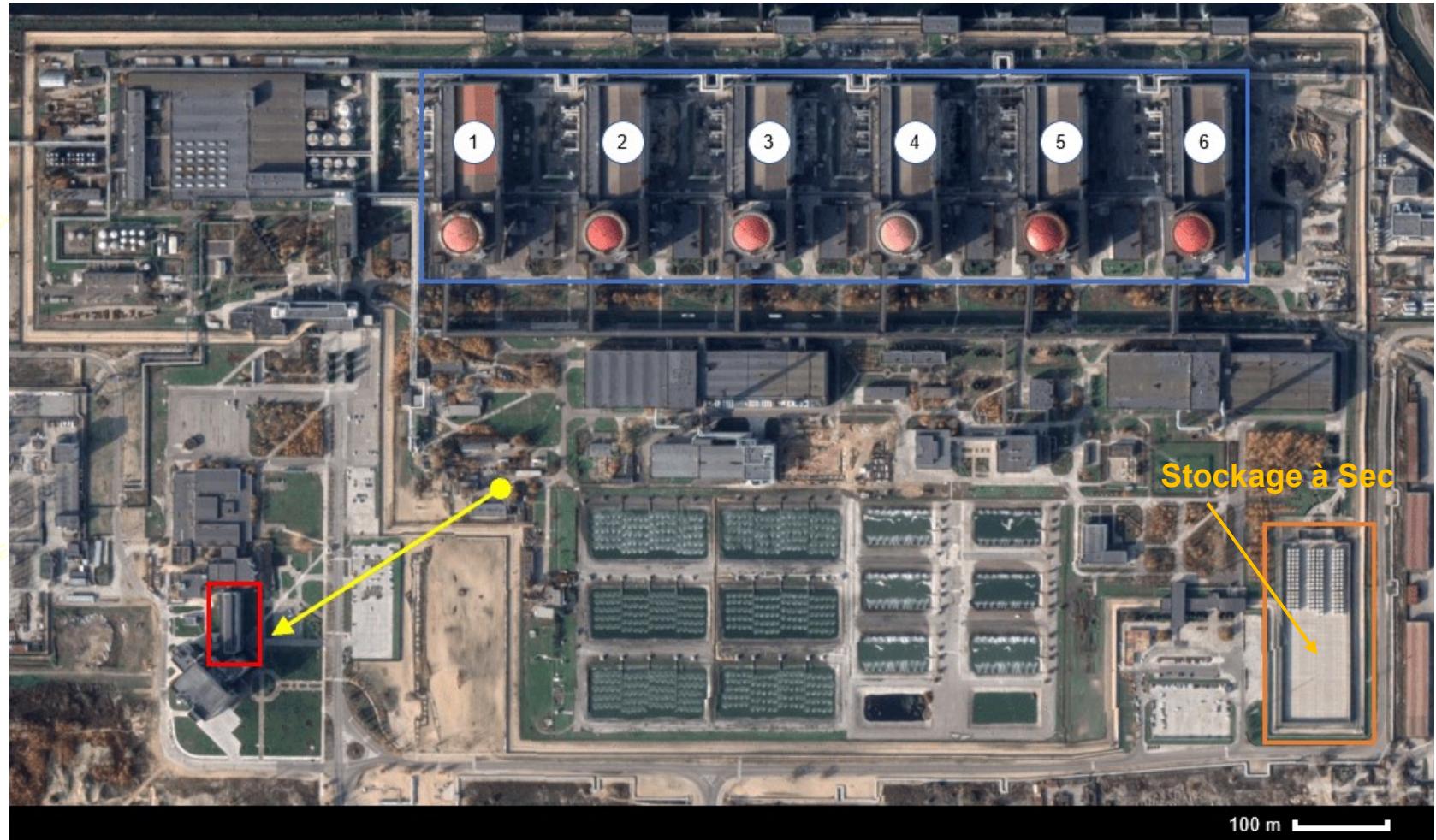
ENERGIE NUCLEAIRE

Centrale dans la guerre
LE CAS DE L'UKRAINE

PJY1

Reproduction interdite sans l'accord d'EXPERTNUC

03/09/2024 JY PERON



Le site de la centrale :

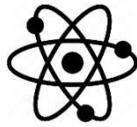
En rouge : Centre de formation bombardé et incendié
En Orange : l'entreposage à sec des combustibles usé

En bleu : zone des 6 réacteurs VVER 1000

Diapositive 101

PJY1

Peron Jean Yves; 17/03/2022



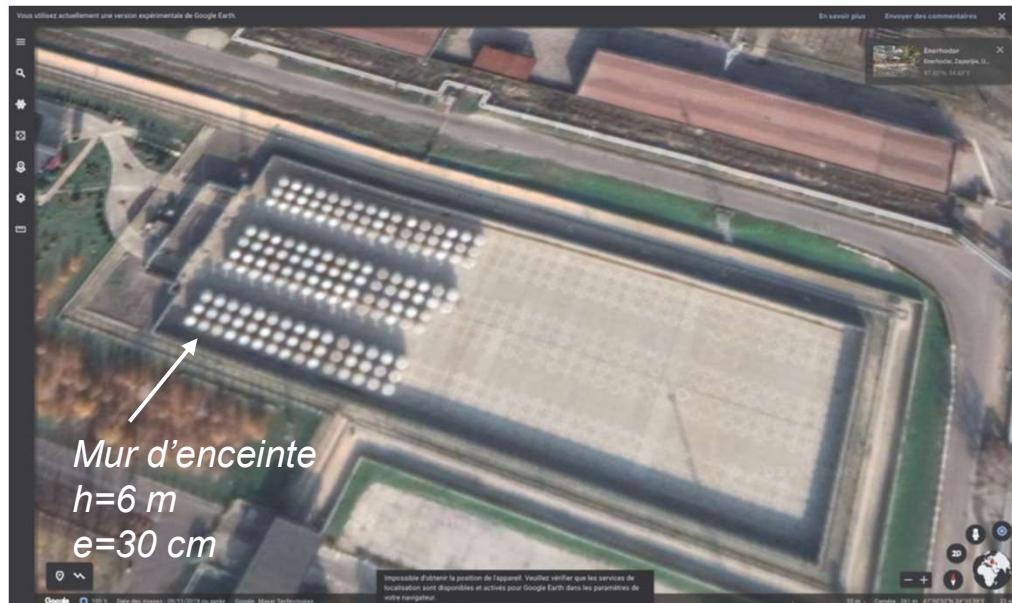
EXPERTNUC



Ecole REEL

ENERGIE NUCLEAIRE

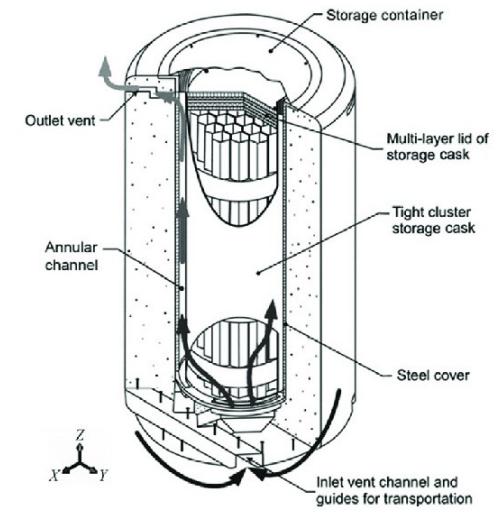
Centrale dans la guerre LE CAS DE L'UKRAINE



Vue de la zone d'entreposage (Google Earth)



Ecole REEL



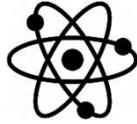
(A)



(B)

Vues de l'installation d'entreposage à sec des AC usés
VSC-24 de Sierra Nuclear adapté aux AC VVER (hexagonale)

Ecole REEL



EXPERTNUC



ENERGIE NUCLEAIRE

Centrale dans la guerre
LE CAS DE L'UKRAINE

CONVENTION DE GENEVE 1977 – RESOLUTION AIEA 20098

Les pays signataires s'interdisent d'attaquer les centrales nucléaires (ainsi que les barrages et les digues)

La Fédération de Russie a signé ces conventions **mais pas ratifié**.

Précédent d'attaques (ou menaces) sur des installations nucléaires :

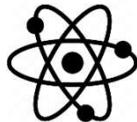
- Guerre dans les Balkans : Centrale de KRSKO en Croatie
- Guerre en Irak : Réacteur de recherche

Le réseau électrique UKRAINIEN (et Moldave) a été synchronisé sur le réseau Européen. L'alimentation électrique en Ukraine pourra être stabilisé.

Mais :

A date (09/2022) les Russes occupent la centrale. Des attaques continuent et les deux parties s'accusent mutuellement de ces attaques. L'Ukraine ne veut pas que l'AIEA inspecte le site tant que les Russes l'occupent.

La situation est critique et pourrait s'envenimer. Accord des deux parties pour que l'AIEA visite le site début Septembre 2022. Le dernier réacteur en fonctionnement a été mis à l'arrêt. Depuis, tous les réacteurs sont en arrêt froid mais, par intermittence, isolé du réseau électrique. Après l'annexion de la province, les Russes et par décret, deviennent propriétaire de la centrale avec ses 6 réacteurs qui alimentent aussi la Crimée. Offensive Ukrainienne sur le Dnierp et Kharson (traversée du fleuve au sud).



EXPERTNUC

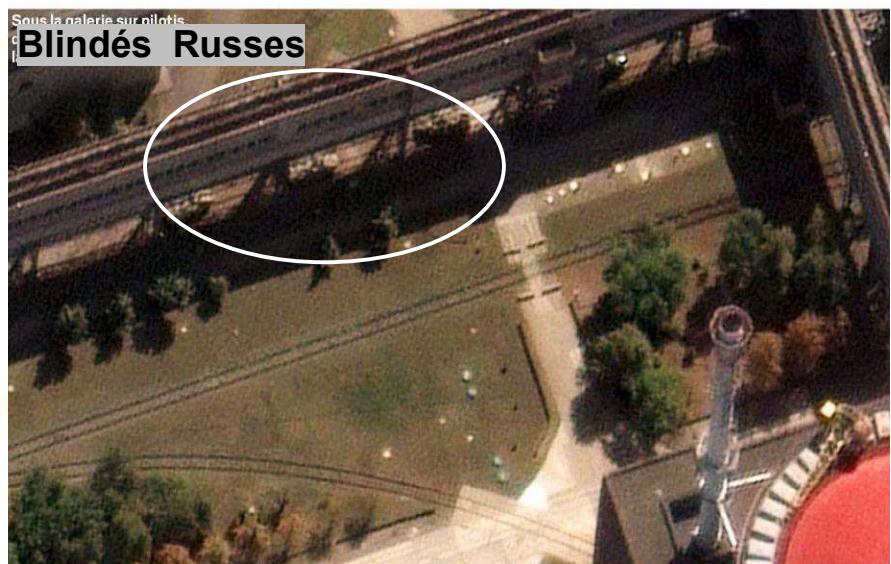
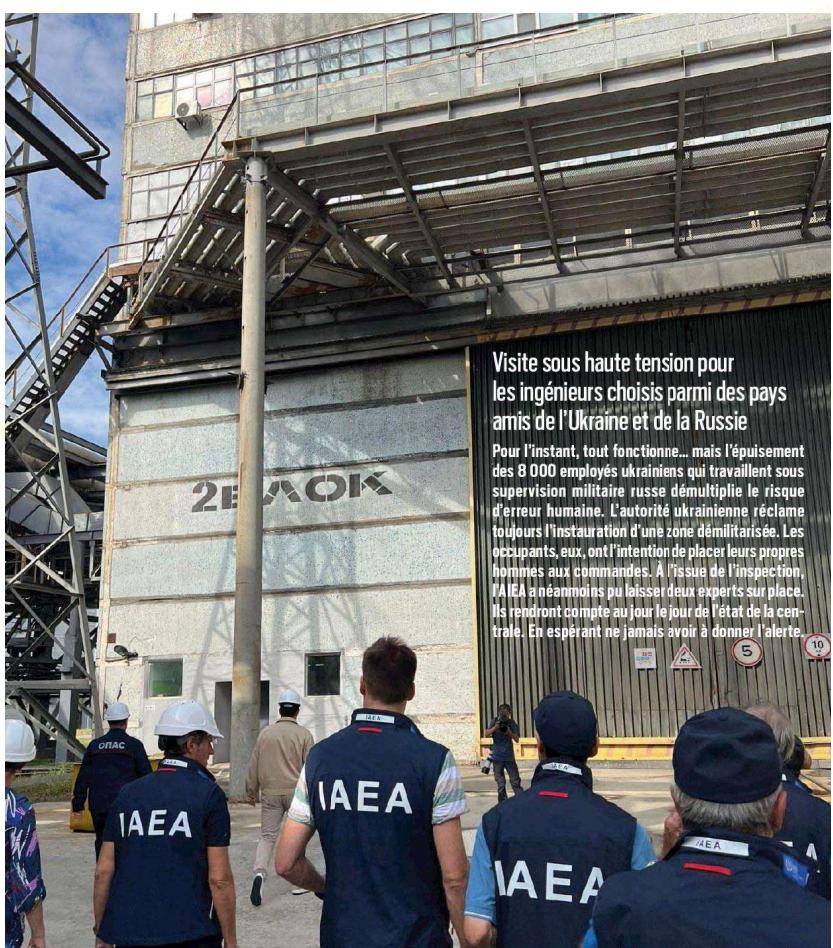


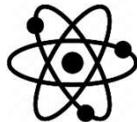
ENERGIE NUCLEAIRE

Centrale dans la guerre LE CAS DE L'UKRAINE

VISITE DES INSPECTEURS DE L'AIEA

Visite de 5 jours début septembre 2022 menée par le directeur général de l'AIEA. Deux inspecteurs resteront sur place. L'AIEA plaide pour une zone d'exclusion sécuritaire autour de la centrale





EXPERTNUC



Aujourd'hui

ENERGIE NUCLEAIRE

Centrale dans la guerre LE CAS DE L'UKRAINE

La centrale est occupée par l'Armée Russe qui serait sur la voie de départ (info de 02/2024 ?), laissant la centrale quelque peu abandonnée avec un personnel d'exploitation Ukrainien très réduit. Une grande tension existe.

Le personnel de l'exploitant Ukrainien est fatigué avec peu de renouvellement . Il y a eu plus de 400 démissions (Ceux qui n'ont pas signé un contrat avec Rosatom, ne peuvent plus accéder à la centrale). C'est un personnel hautement qualifié qui manque.

Certes les réacteurs sont à l'arrêt mais l'état des équipements se dégrade et l'exploitation ne se poursuit pas dans les normes de totale sécurité. Le réseau électrique a des défaillances multiples et les diesel de secours ont besoin de carburant.

Le combustible a atteint ses limites d'exploitation (6 ans) et les Russes ne font rien.

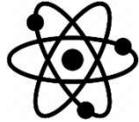
Le front est tout proche. La centrale à portée de canon, drones et missiles. Risques de sabotages.

5 réacteurs sont à l'arrêt froid depuis plus d'un an. Le contenu radioactif en **iode** du cœur à disparu (à Tchernobyl 90 % des rejets radioactifs étaient de l'iode). Le 6^{ème} vient d'être mis à froid.

Le fleuve n'a plus le même débit après la destruction du barrage de Kakhovka qui alimentait le bassin de refroidissement. Mais les besoins en refroidissement sont très réduits.

L'AIEA qui visite l'installation est soumise à des restrictions et ses déplacements dans les installations sont limités. Malgré les résolutions prises par l'AIEA, les russes n'en tiennent pas compte !!!

Ne pas oublier l'entreposage à sec avec plusieurs milliers de combustibles usés.



EXPERTNUC



Academy

ENERGIE NUCLEAIRE

Centrale dans la guerre
LE CAS DE LA RUSSIE

DEMAIN LA CENTRALE DE KOURSK ?

Les Ukrainiens sont à moins de 30 kms de la centrale

La centrale :

- 2 Réacteurs RBMK (type Tchenobyl) en exploitation
- 2 réacteurs RBMK arrêtés
- 2 Réacteurs type VVER TOI en construction

ENERGIE NUCLEAIRE

NOTES

ENERGIE NUCLEAIRE

NOTES

ENERGIE NUCLEAIRE

NOTES