



## Éléments d'information sur l'accident nucléaire au Japon

---



CHANGER L'ÉNERGIE ENSEMBLE

# **1- Le nucléaire au Japon**

# Carte des centrales nucléaires japonaises

- 17 Centrales
- 55 réacteurs
- 11 exploitants
- 33 % de la production d'électricité



## **2- Distinctions entre**

**LE REACTEUR A EAU BOUILLANTE  
(REB – BWR)**

et

**LE REACTEUR A EAU PRESSURISEE  
(REP – PWR)**

# **PWR (Palier 900 MWe) BWR (type FUKUSHIMA- DAIICHI) et**

- **Points Communs PWR - BWR**

- Réacteur à eau légère
- Disposant d'enceintes de confinement (trois barrières)
- Combustible gainé Zircalloy

- **Distinctions PWR - BWR**

- **REP**

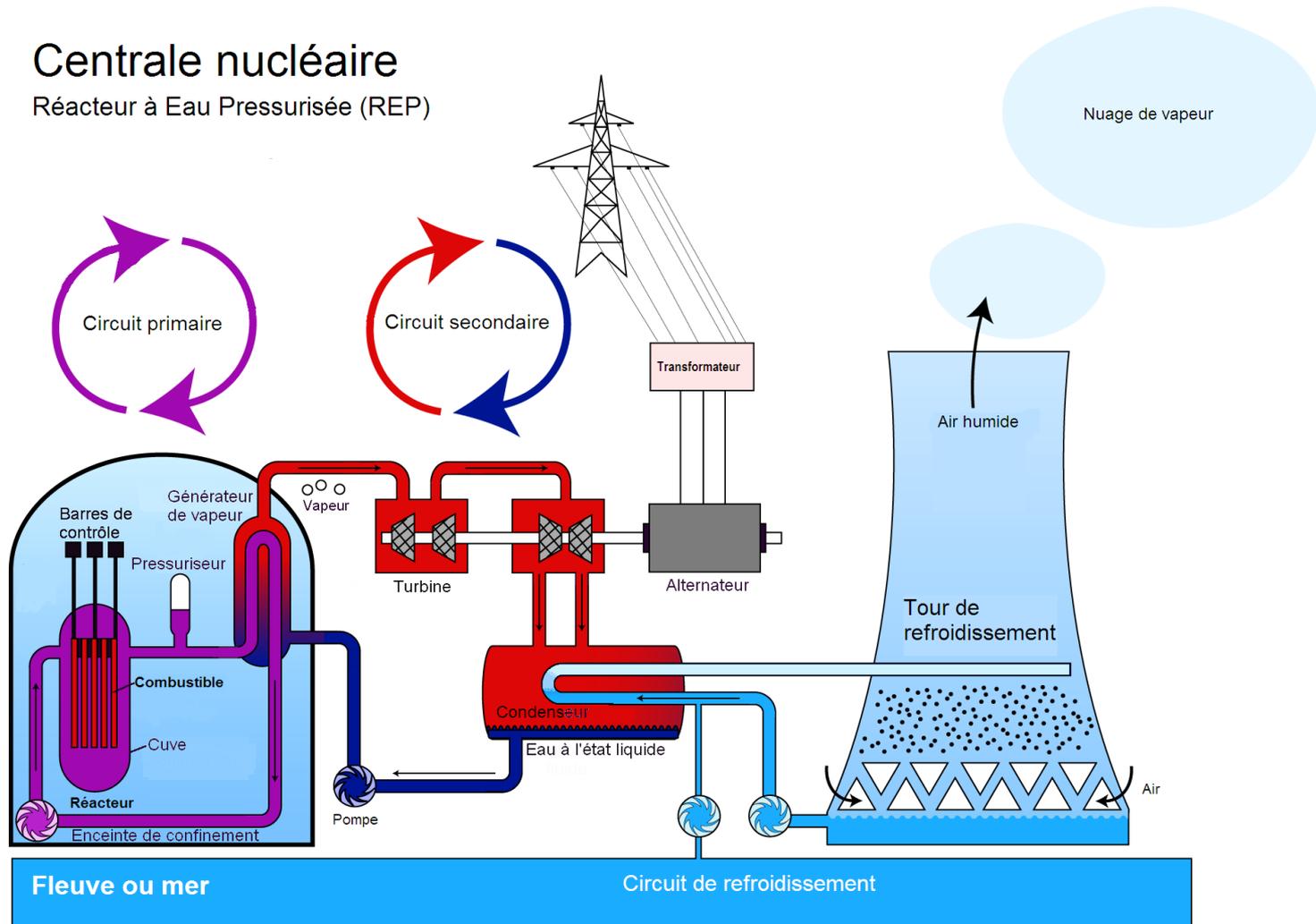
- 2 circuits indépendants et distincts : primaire – secondaire
    - Le circuit primaire est totalement fermé. L'eau est sous forme liquide
    - Le circuit secondaire n'est pas contaminé

- **REB**

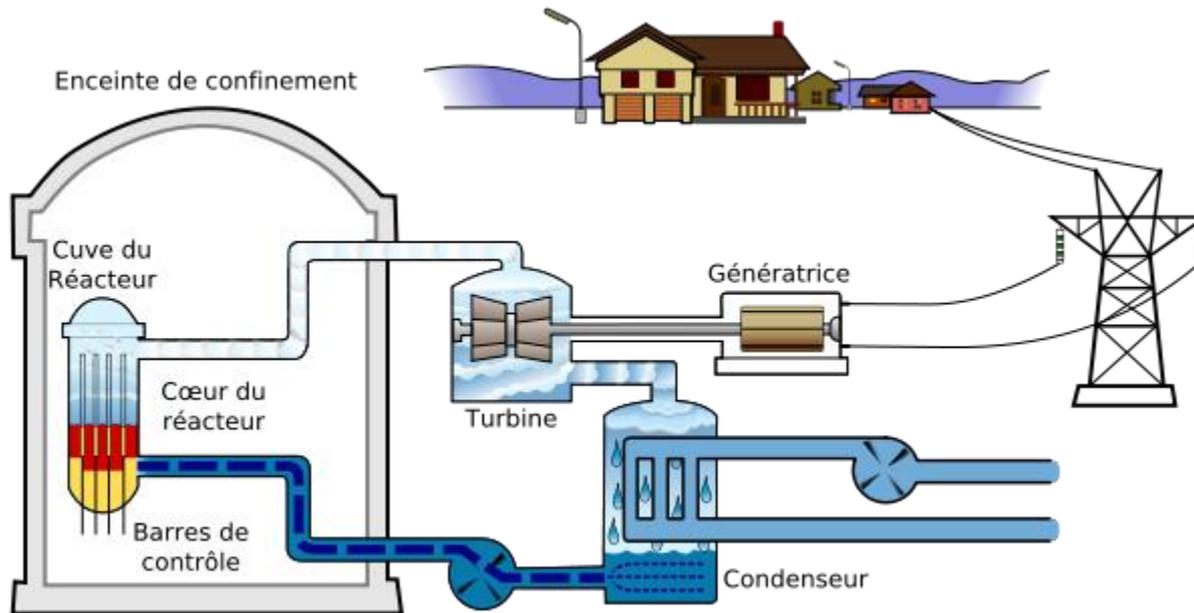
- 1 circuit unique. L'eau chauffée dans le cœur est directement transformée en vapeur qui alimente la turbine
    - Le cœur fait office de « générateur de vapeur »
    - Le circuit secondaire est contaminé

# Schéma de principe du REP (réacteur à eau pressurisée)

Centrale nucléaire  
Réacteur à Eau Pressurisée (REP)



# Schéma de principe du REB (réacteur à eau bouillante)



# Schéma de principe du BWR GE Mark 1

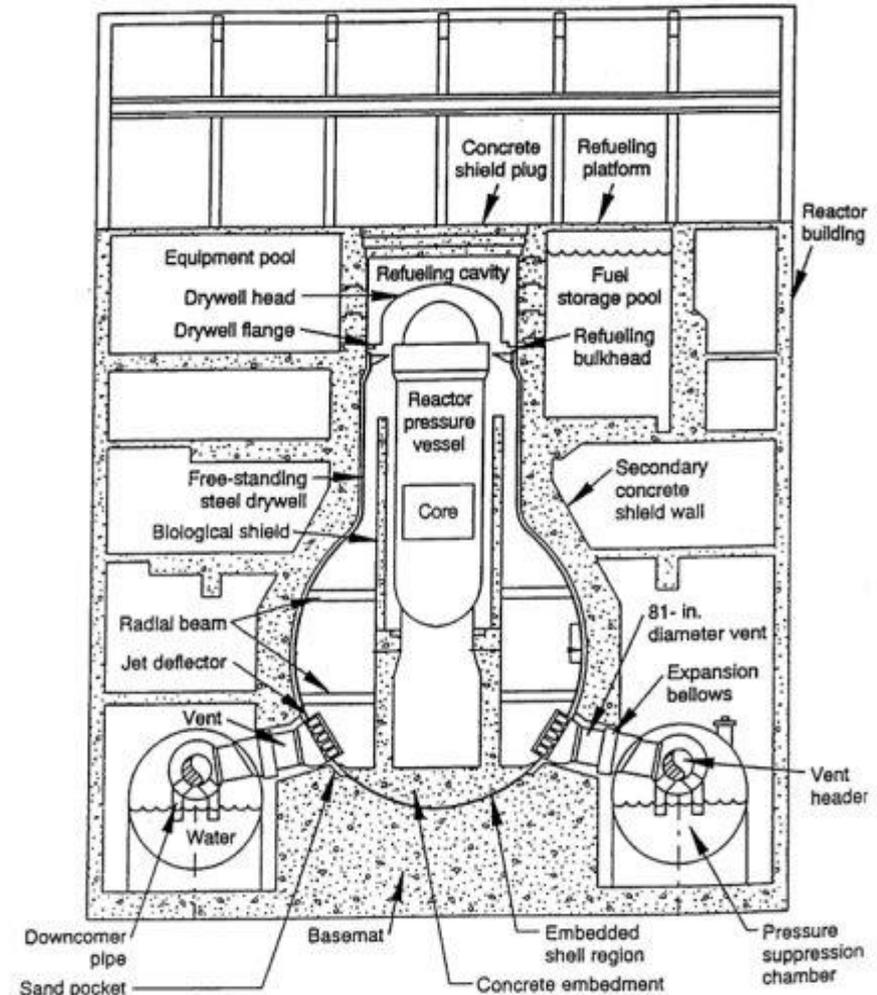
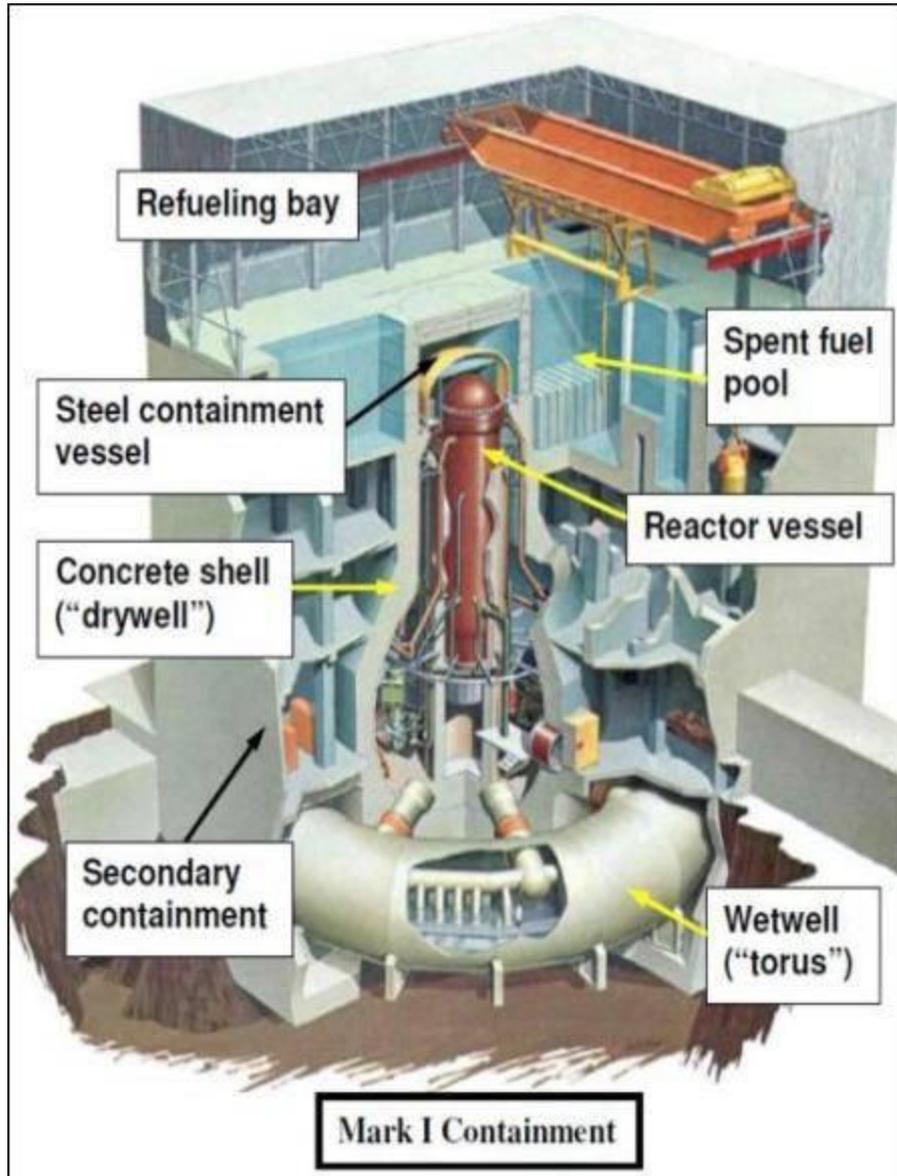


Figure 20. Mark I General Electric, GE BWR Containment.

# **3 – Le déroulement des événements**



# La centrale de Fukushima Daiichi

Centrale de Fukushima Daiichi	Type	Puissance	Première divergence	Concepteur	Etat au moment du séisme
Réacteur n°1	BWR	460 MWe	1970	GE	En puissance
Réacteur n°2	BWR	784 MWe	1974	GE	En puissance
Réacteur n° 3	BWR	784 MWe	1976	Toshiba	En puissance
Réacteur n°4	BWR	784 MWe	1978	Hitachi	Arrêt
Réacteur n°5	BWR	784 MWe	1978	Toshiba	Arrêt
Réacteur n°6	BWR	1100 MWe	1979	GE	Arrêt

# Le complexe nucléaire de Fukushima Dai-Ichi

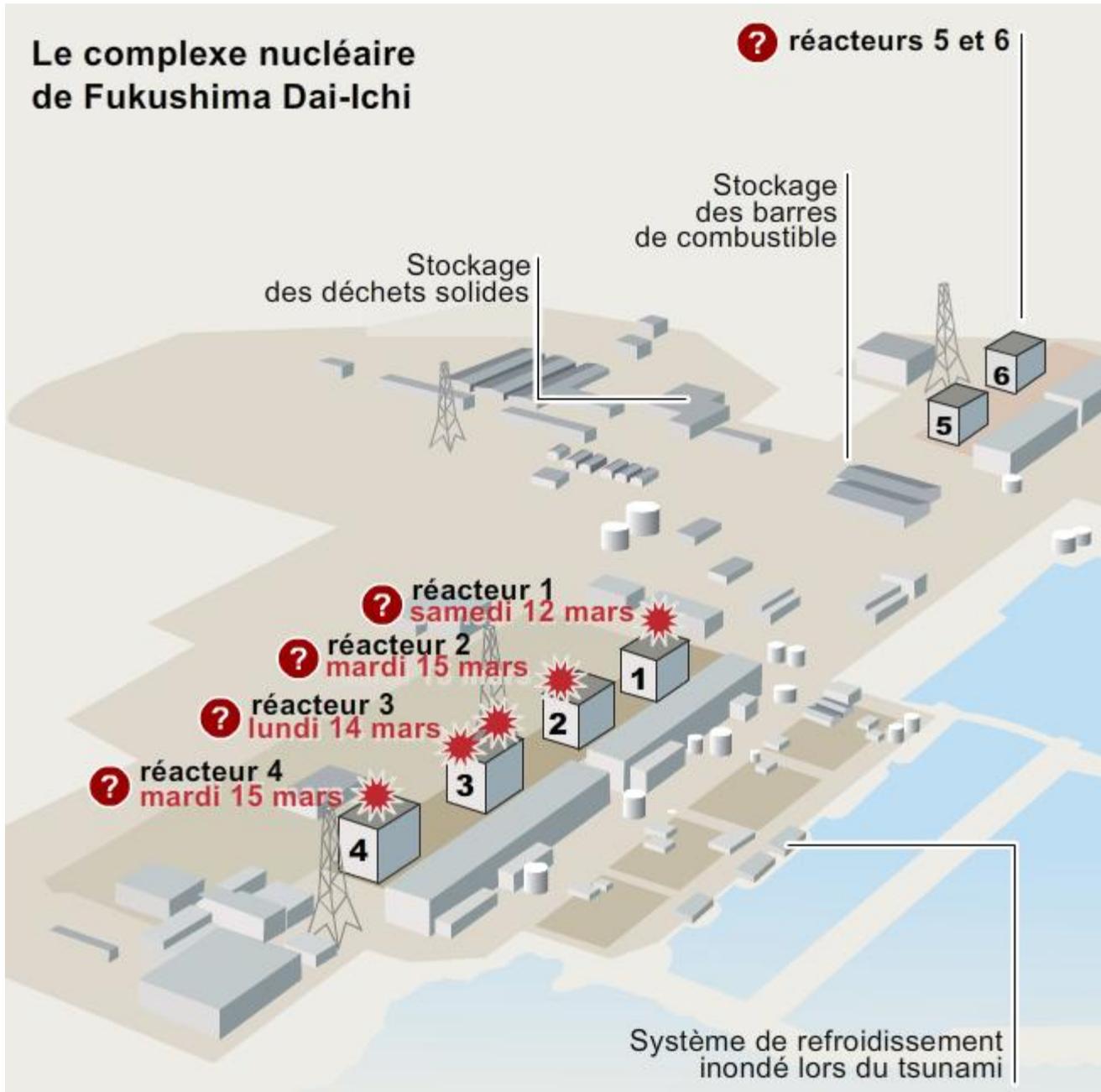
? réacteurs 5 et 6

Stockage des déchets solides

Stockage des barres de combustible

- ? réacteur 1 samedi 12 mars
- ? réacteur 2 mardi 15 mars
- ? réacteur 3 lundi 14 mars
- ? réacteur 4 mardi 15 mars

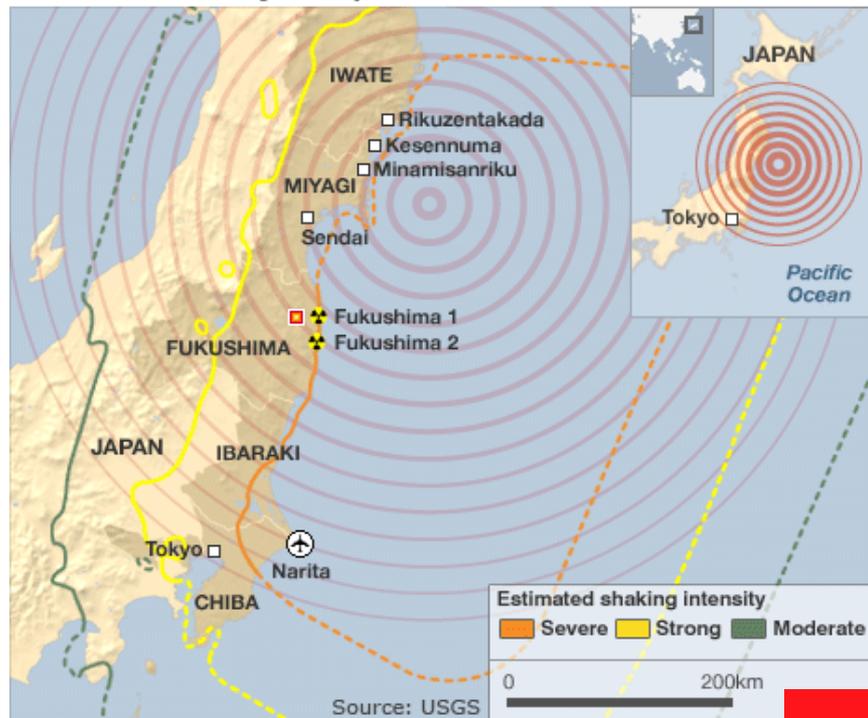
Système de refroidissement inondé lors du tsunami



# Déroulement des évènements 1/6

11 mars 2011 à 14h46 : séisme magnitude 9,0 / profondeur 24,4 km

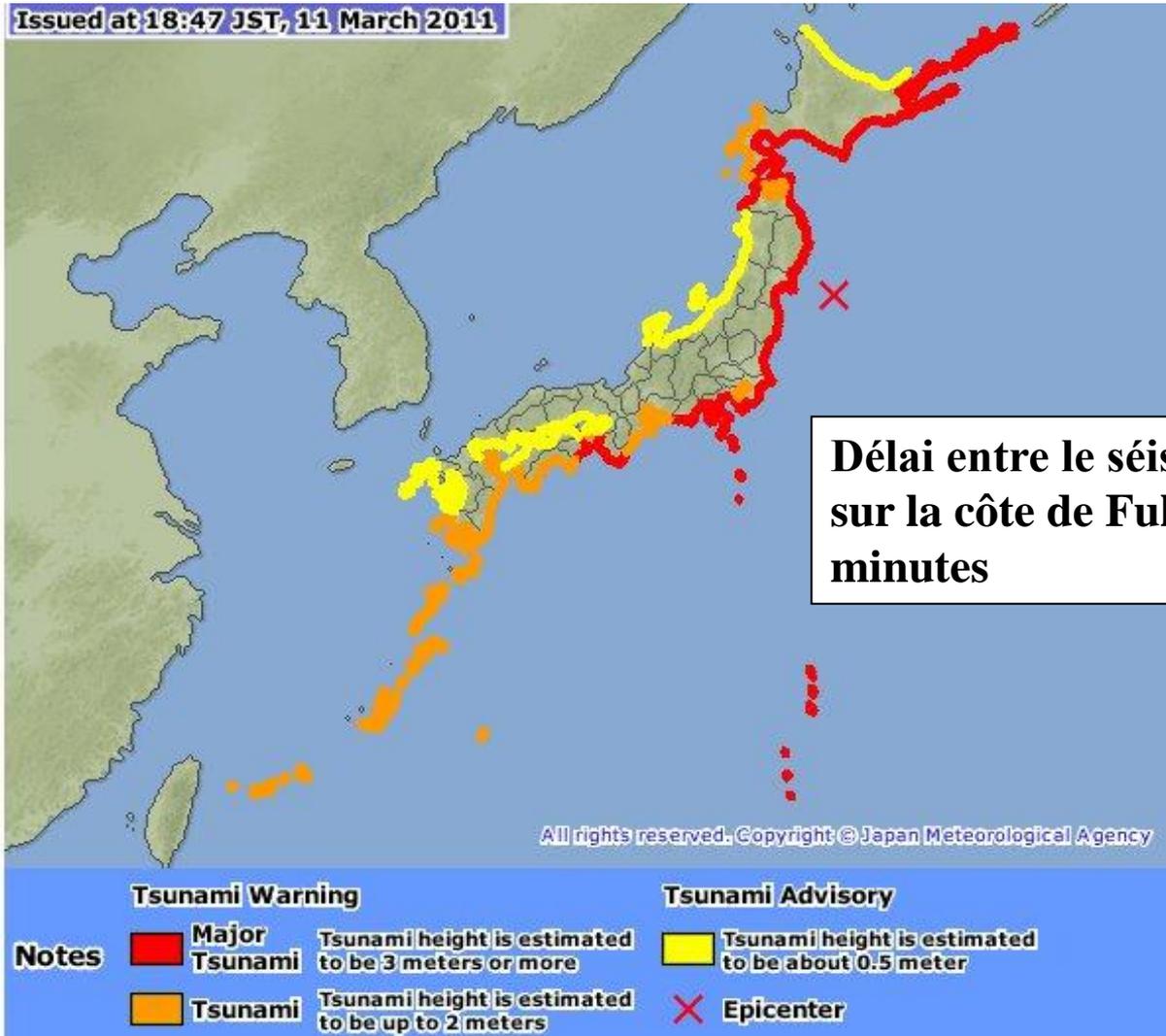
Areas affected by the quake



Pays	Ville / Zone	Magnitude	Date
Chili	Valdivia	9,5	22 mai 1960
Sumatra	Andaman	9,3	26 décembre 2004
États-Unis	Alaska	9,2	27 mars 1964
Alaska	Andreanof	9,1	9 mars 1957
Russie	Kamtchatka	9,0	4 novembre 1952
Japon	130 km au large de Sendai	9,0	11 mars 2011

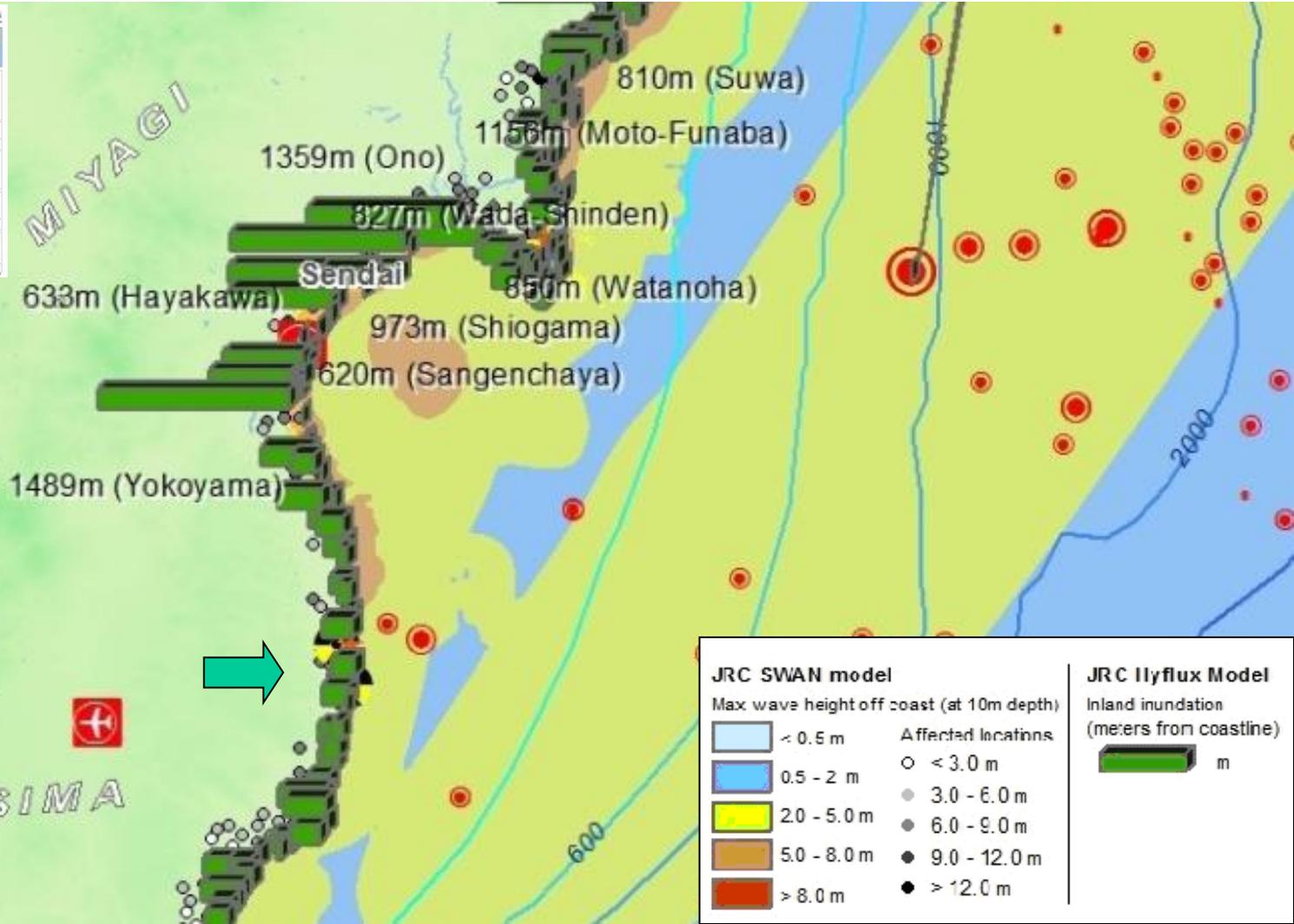
# Déroulement des événements 2/6

11 mars 2011 à 14h46 + ~10 min. : **tsunami**



# Déroulement des événements 3/6

11 mars 2011 à 14h46 + ~10 min. : **tsunami**



# Déroulement des événements 4/6

## *Les conséquences directes sur le réacteur n°1*

1. **Le séisme** provoque :

- l'arrêt automatique du réacteur
- la perte des alimentations électriques externes de la centrale

2. **Le tsunami** provoque :

- **la perte totale de la source froide** (station de pompage)

3. **tsunami ?** provoque ensuite la perte des alimentations internes de secours (groupes électrogènes)

*« Emergency diesel generators, which had kicked in to run the reactor's cooling system after the electrical power grid failed, shut down about an hour after the earthquake. There was speculation that the tsunami had flooded the generators and knocked them out of service. »*

# Déroulement des événements 5/6

## *Les conséquences sur le réacteur n°1*

### • Le 11 mars :

#### **Vers 15h00 (heure locale)**

Situation MDTG + perte complète de la source froide

Refroidissement temporaire grâce à l'injection par le RCIC (turbopompe + batteries ) et inertie thermique de la chambre de suppression.

*« For some time after the quake, the plant was operating in a battery-controlled cooling mode. Tokyo Electric said that by Saturday morning it had also installed a mobile generator at Daiichi to ensure that the cooling system would continue operating even after reserve battery power was depleted. »*

### **Le 12 mars :**

#### **vers 14h30 (heure locale)**

Augmentation de la pression à l'intérieur de l'enceinte de confinement (qui a atteint 0,8 MPa) : pour sauvegarder l'enceinte l'exploitant procède à une dépressurisation volontaire qui permet à la pression de retomber sous 0,4 MPa.

#### **Vers 14h40 (heure locale)**

des détecteurs à l'extérieur du site mesurent des traces de **césium puis d'iode radioactifs.**

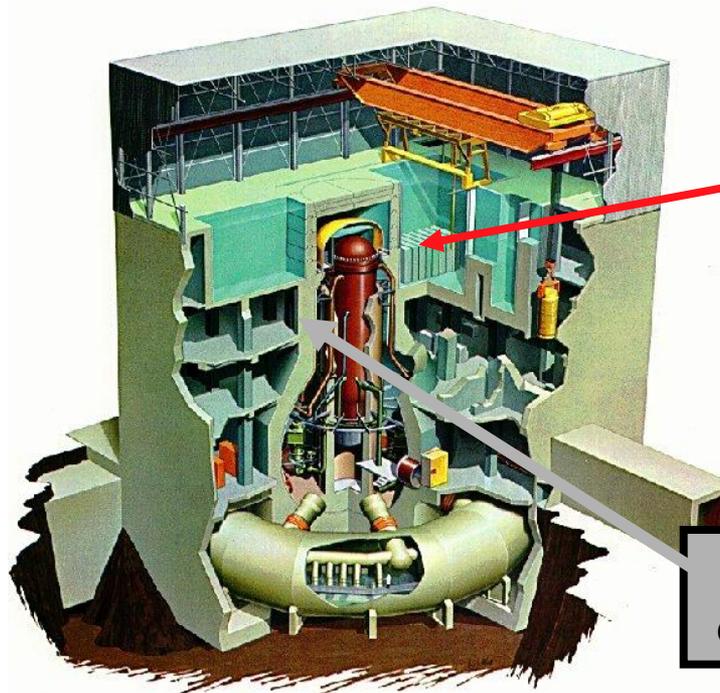
**> Révélateur d'un endommagement du combustible**

# Déroulement des événements 6/6

## *Les conséquences sur le réacteur n°1*

**12 mars à 15h36 (heure locale)**

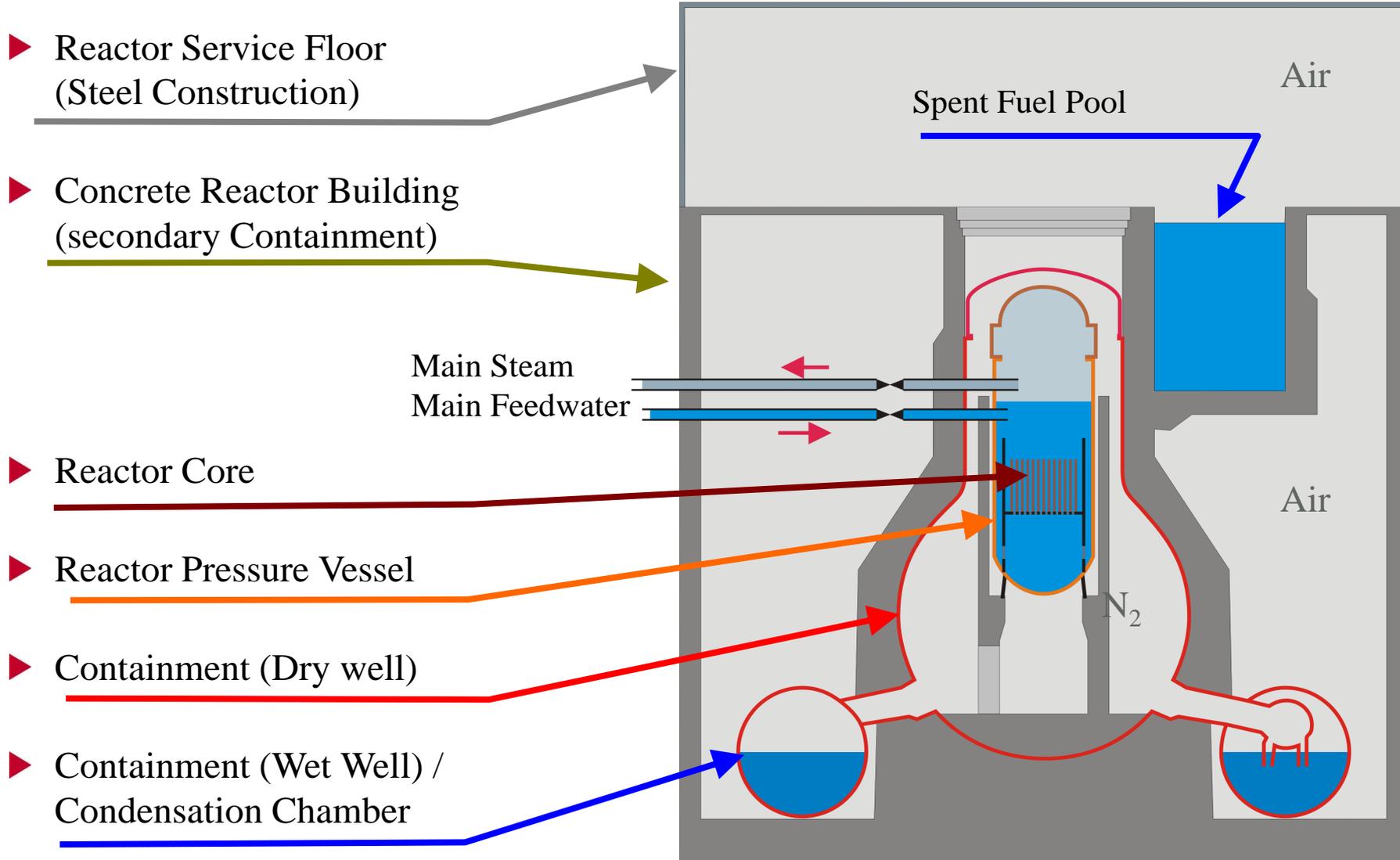
violente explosion dans la partie supérieure du bâtiment réacteur entraînant l'effondrement du toit (explosion de l'hydrogène produit par **l'oxydation des gaines du combustible suite à un dénoyage**).



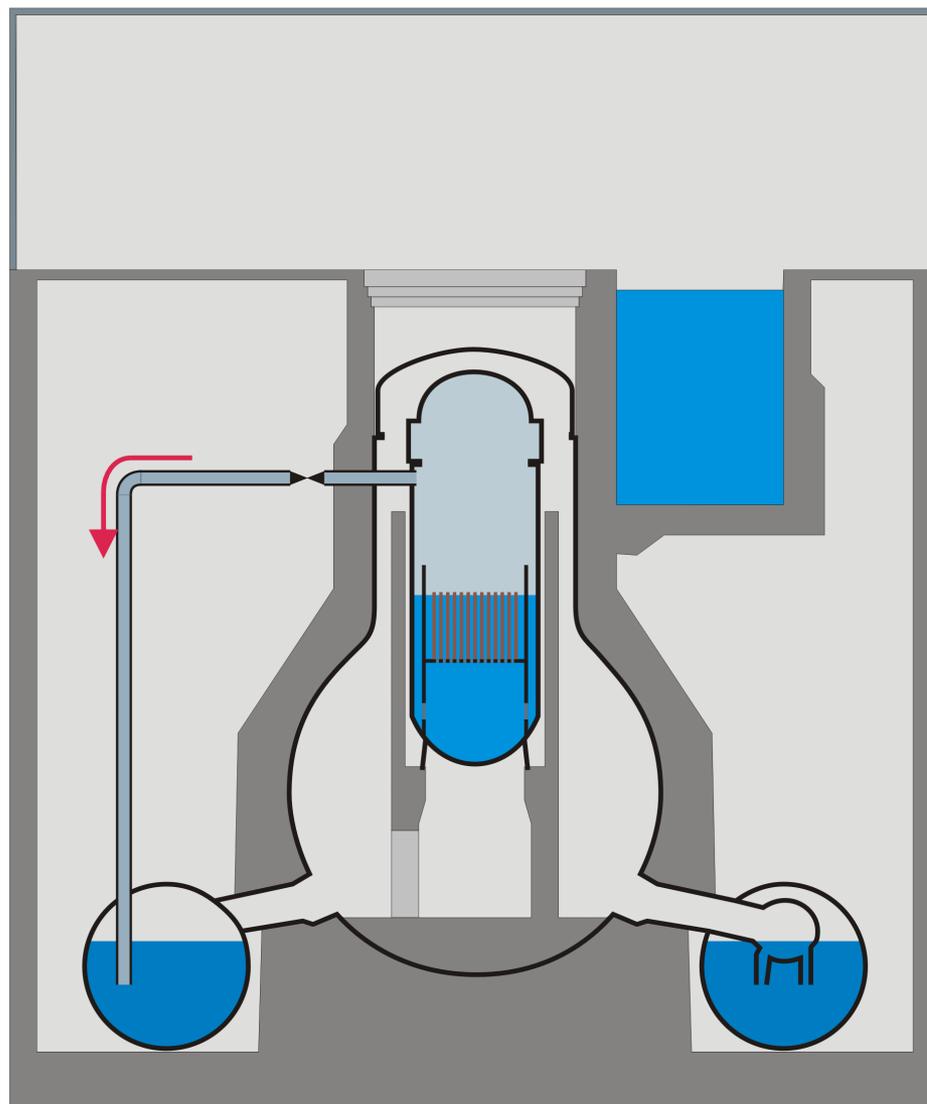
**Impact sur  
l'entreposage  
des combustibles usés  
tranche 3**

**Confinement  
du réacteur intègre**

# Le scénario de la catastrophe de Fukushima

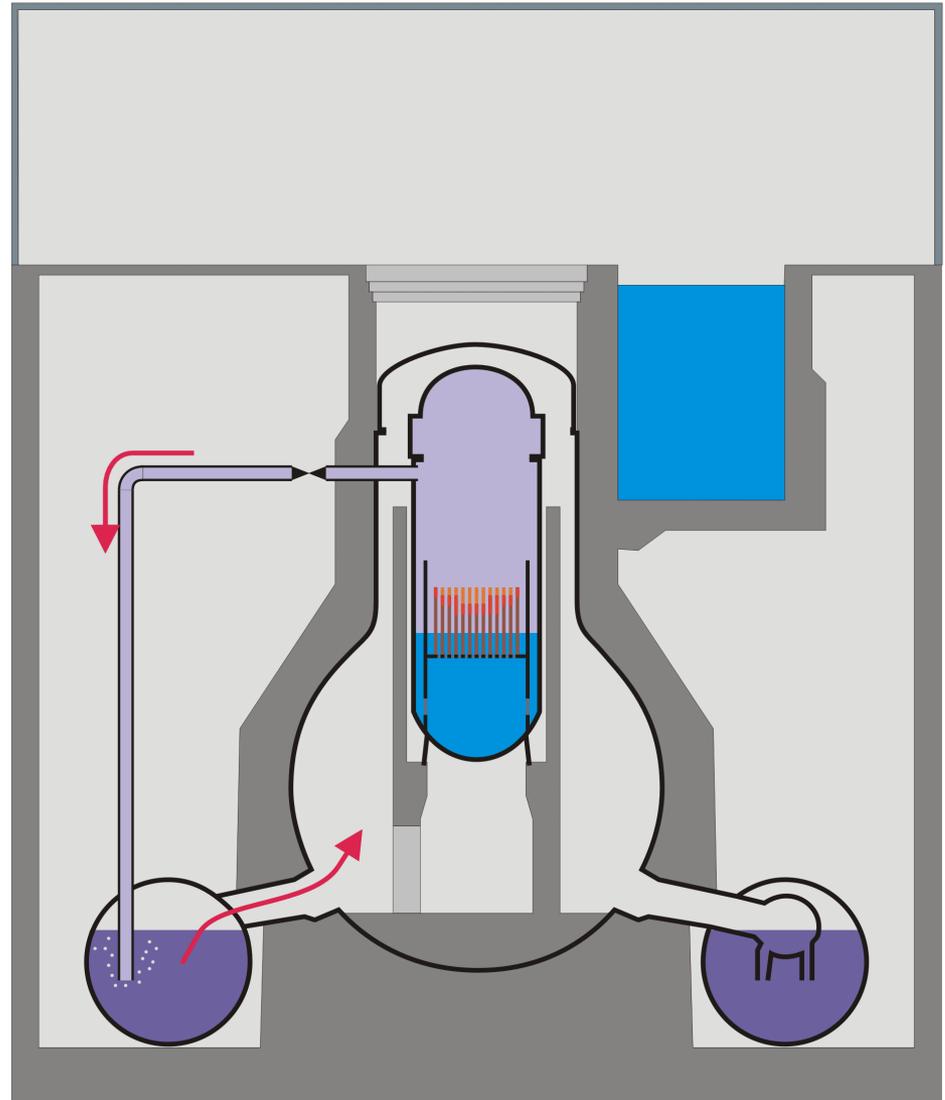


# Le scénario de la catastrophe de Fukushima

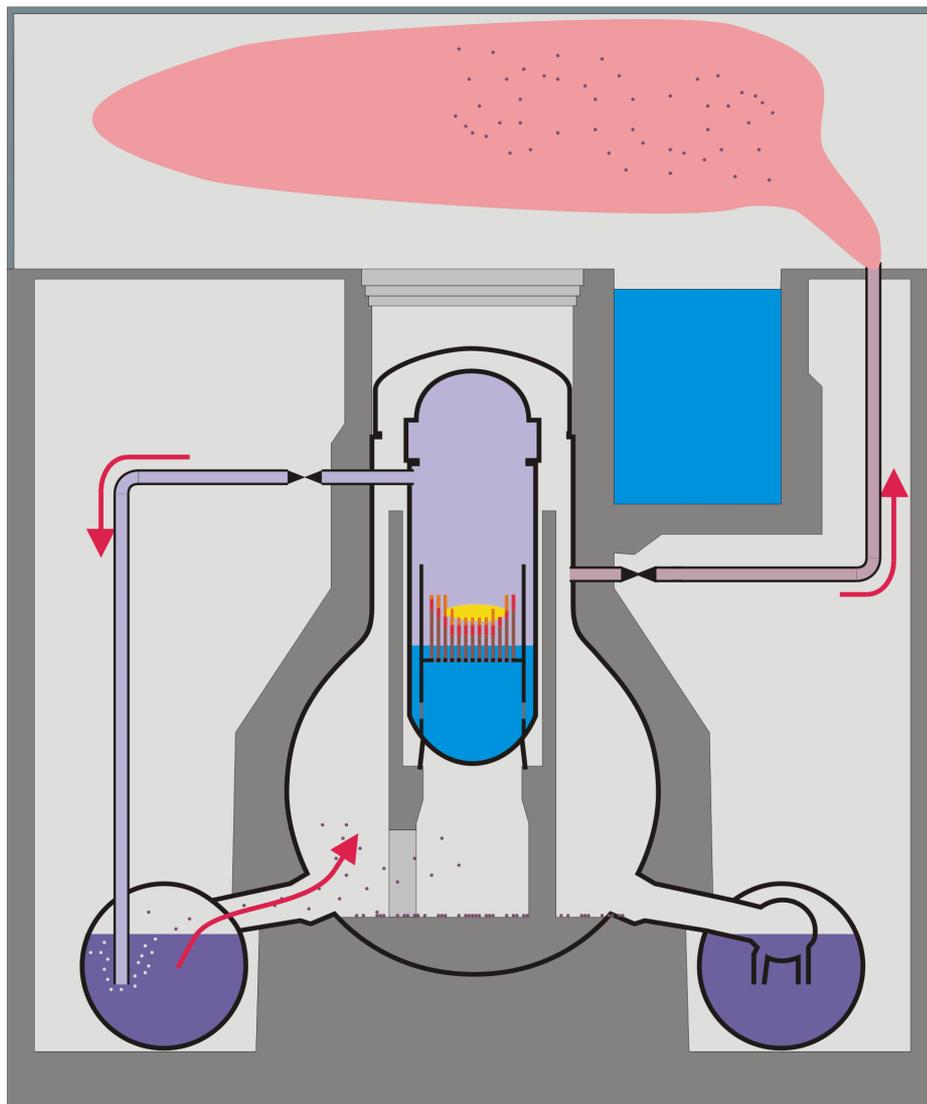


# Le scénario de la catastrophe de Fukushima

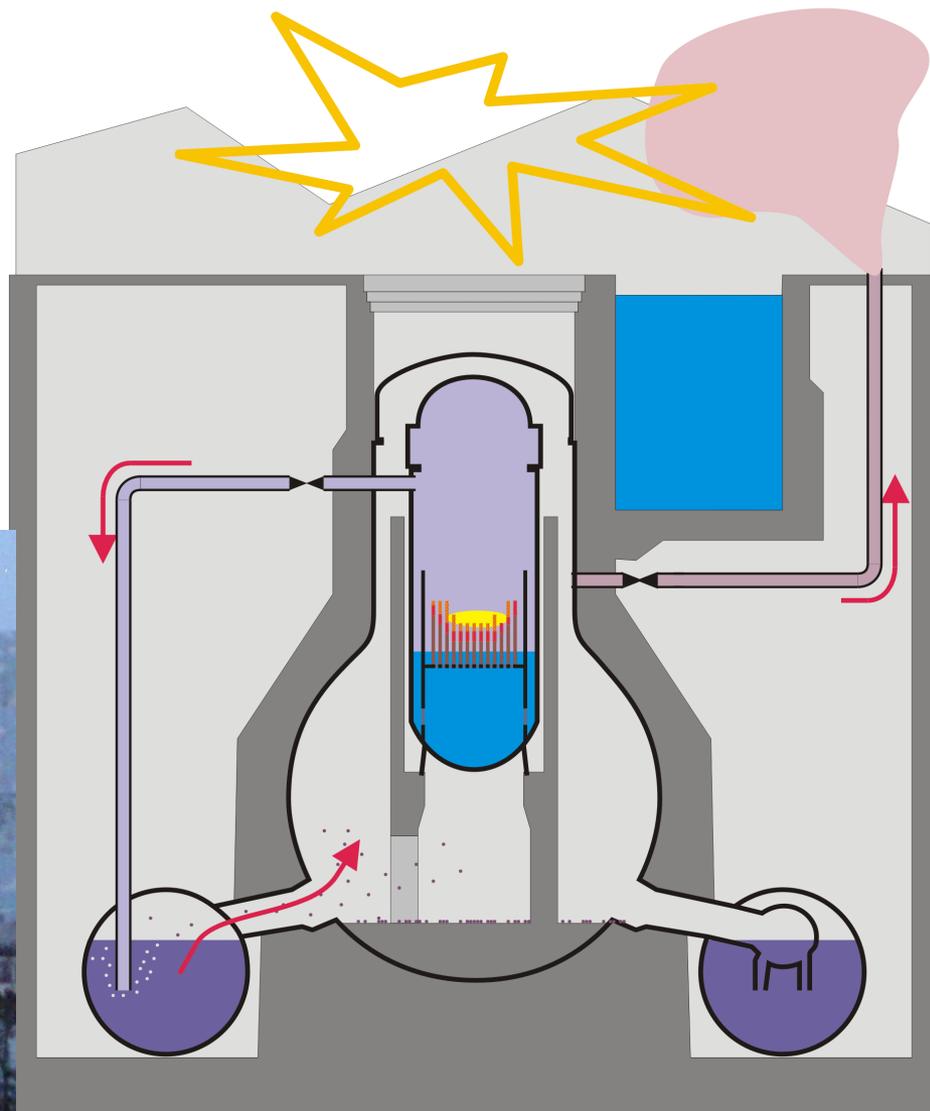
- ▶ ~3/4 of the core exposed
  - ◆ Cladding exceeds ~1200°C
  - ◆ Zirconium water reaction starts under steam atmosphere
  - ◆  $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$
  - ◆ Exothermal reaction heats the core additionally
  - ◆ Generation of hydrogen
    - Unit 1: 300-600kg
    - Unit 2/3: 300-1000kg
  - ◆ Hydrogen gets pushed via the wet-well, the wet-well vacuum breakers into the dry-well



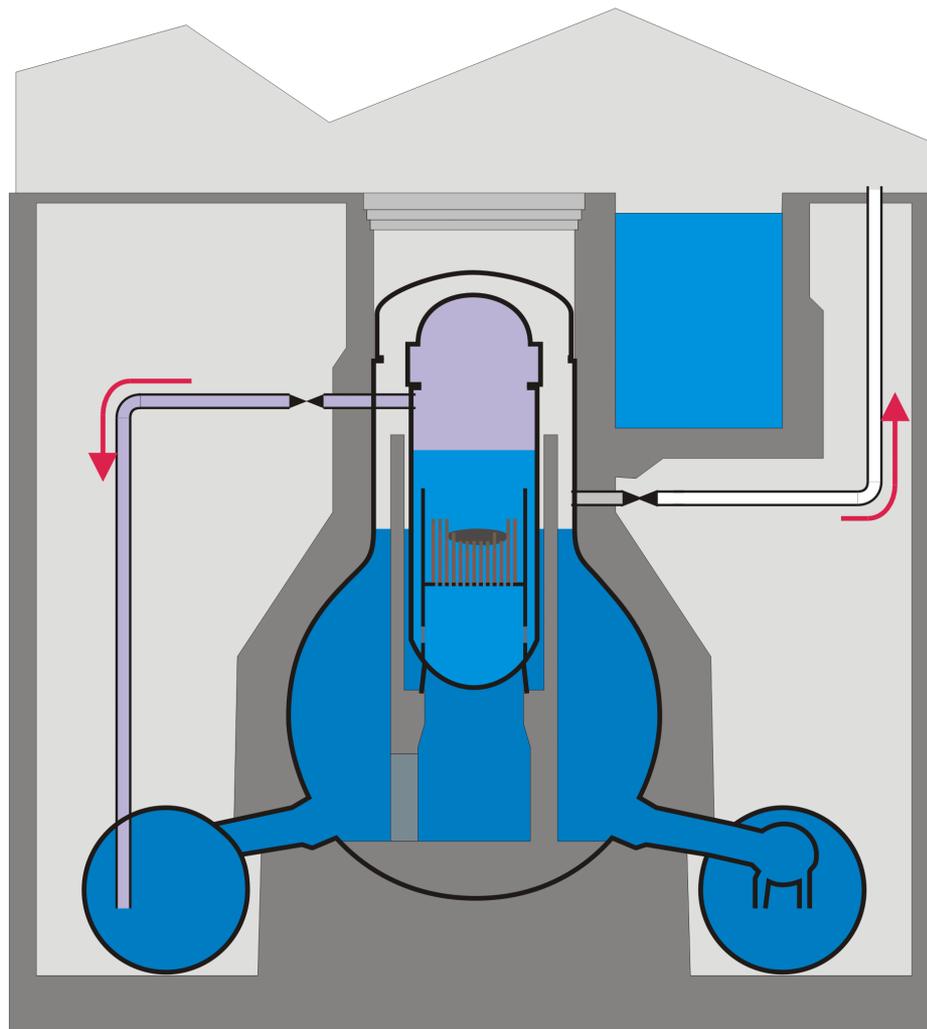
# Le scénario de la catastrophe de Fukushima



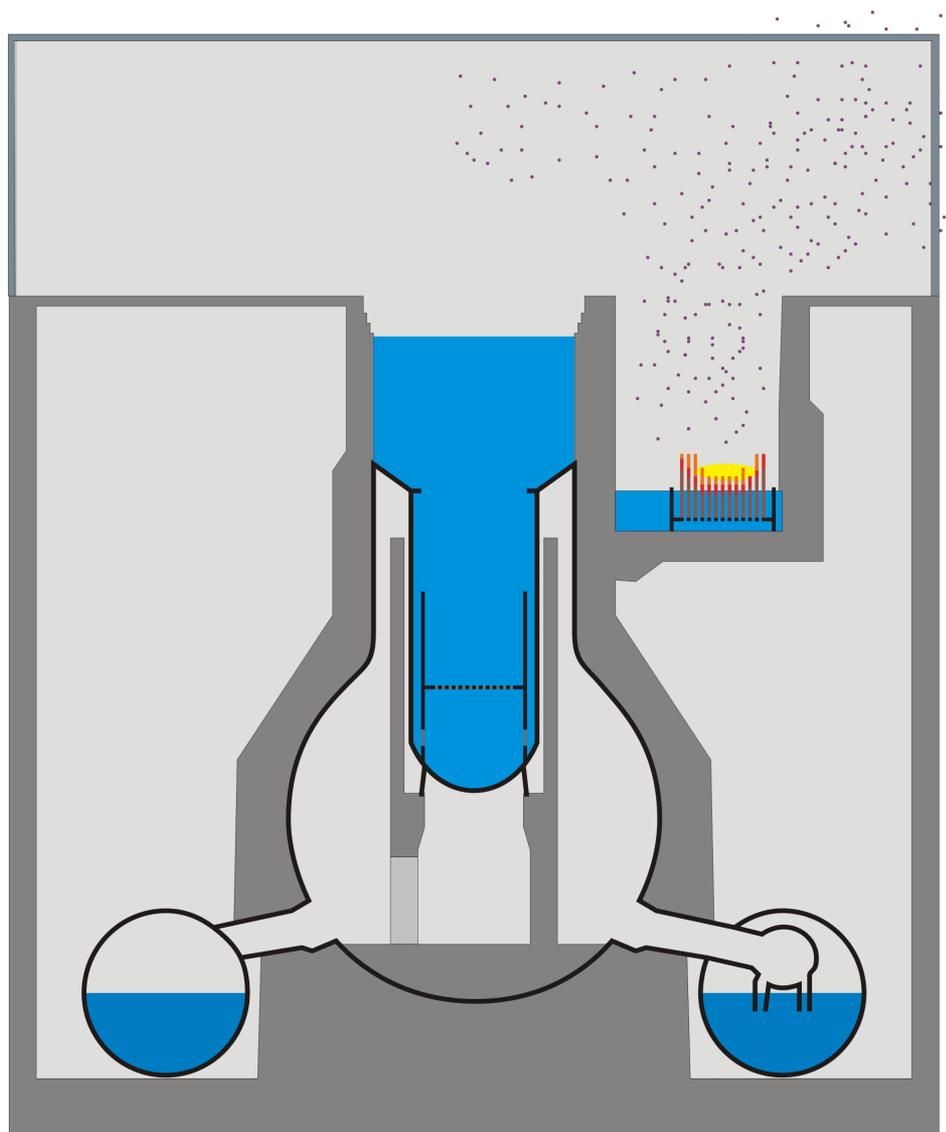
# Le scénario de la catastrophe de Fukushima



# Le scénario de la catastrophe de Fukushima



# Le scénario de la catastrophe de Fukushima



# **4 - LA SITUATION TECHNIQUE**

## **Fukushima – Daiichi**

Sous réserve de l'évolution de la situation

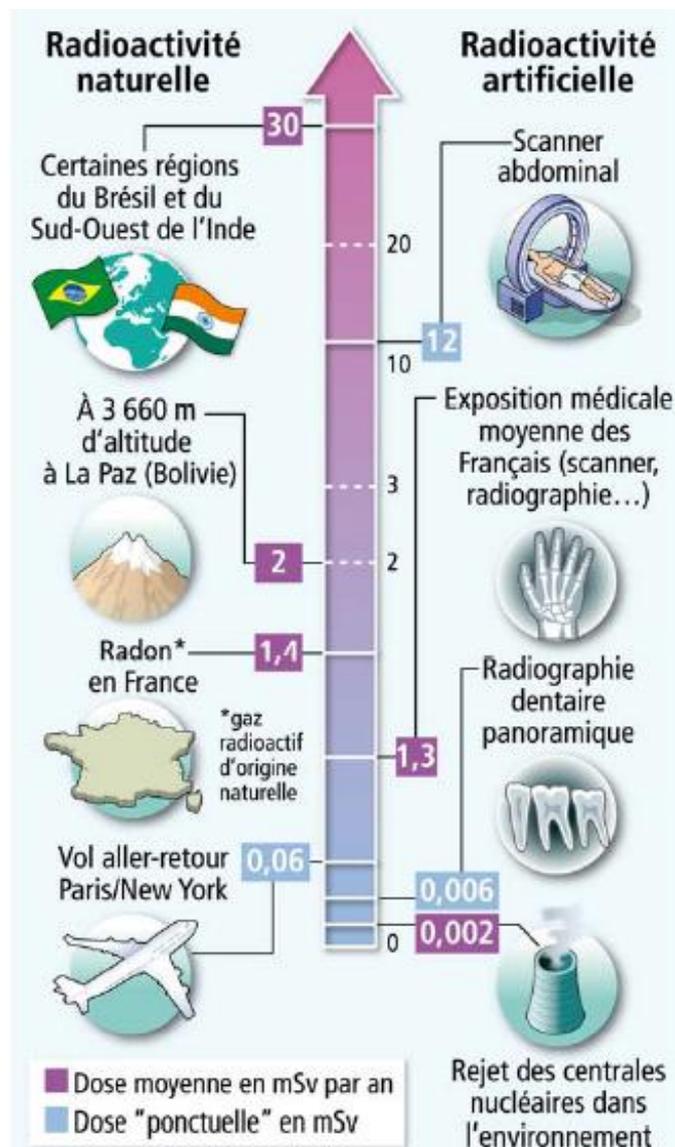
# Situation au 28 mars

- situation stable (en t°c et en pression)
- eau douce dans les réacteurs 1, 2 et 3
- réacteur n°2 :  
1 mètre d'eau stagnante en salle des machines fortement contaminée (1Sv/ h)
- contamination du sol hors site :  
pic le 24/03 puis baisse
- Tokyo :contamination atmosphérique en baisse, plus de contamination dans l'eau.

## Puissance résiduelle avant et après l'arrêt du réacteur

	<i>en %</i>	<i>REP 900</i>	<i>REP 1300</i>
Avant l'arrêt	100 %	2 700 MW	3 900 MW
Après 1 seconde	7 %	190 MW	270 MW
Après 1 minute	5 %	135 MW	195 MW
Après 1 heure	1,5 %	40 MW	58 MW
Après 1 jour	0,6 %	16 MW	24 MW
Après 1 semaine	0,3 %	8 MW	12 MW
Après 1 mois	0,15 %	4 MW	6 MW

# Quelques exemples de sources d'exposition sur l'homme



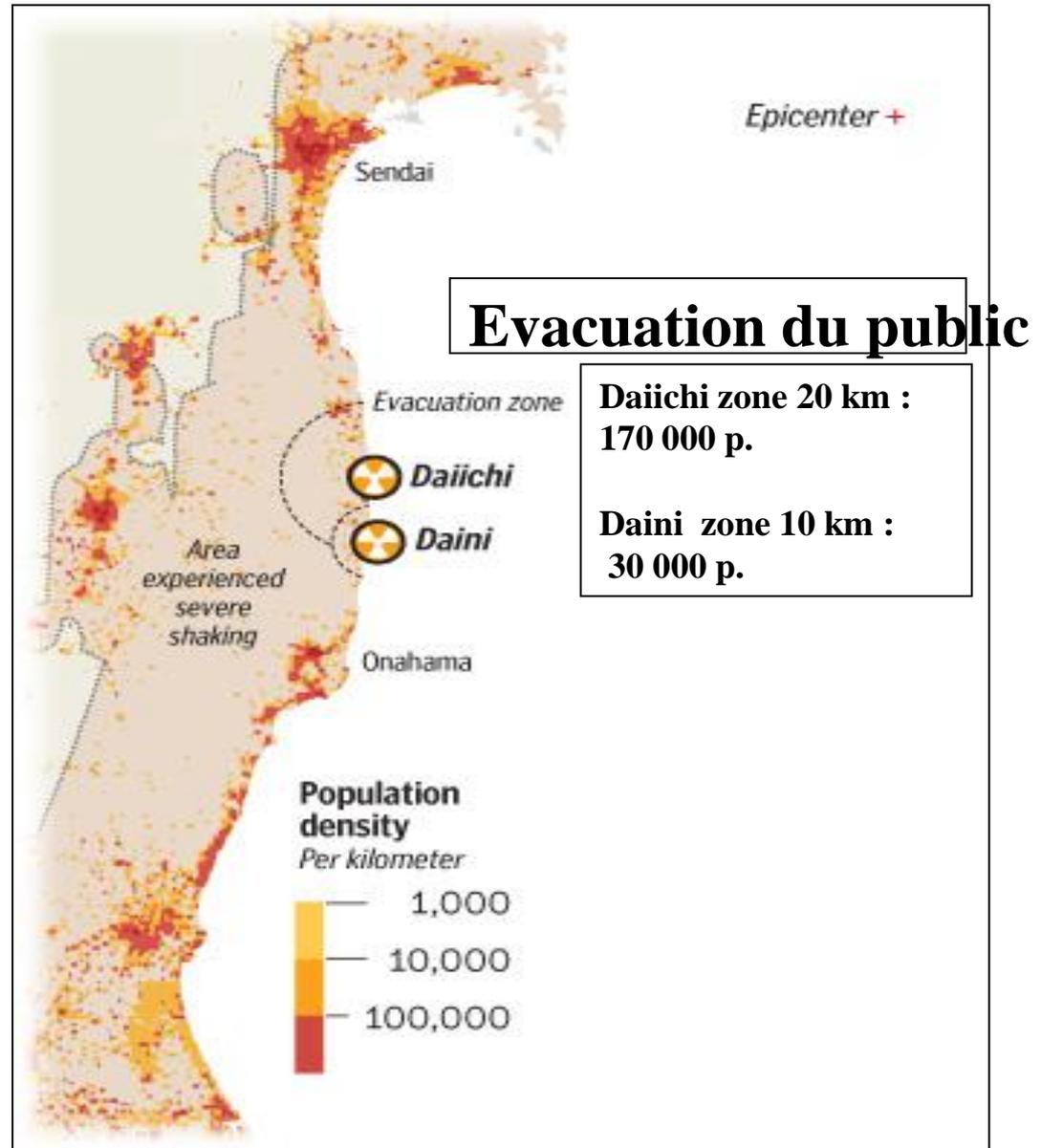
# Conséquences radiologiques

## Niveau des rejets

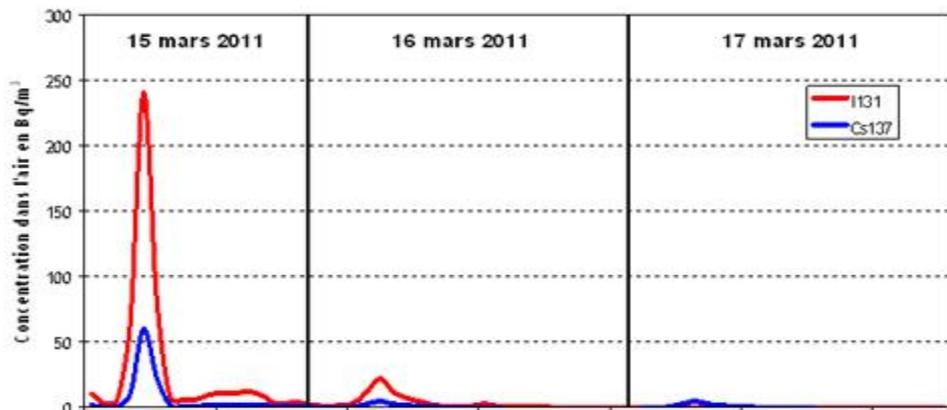
Les mesures de radioactivité effectuées dans l'environnement à proximité de la centrale montrent une décroissance de celle-ci après l'explosion.

Les valeurs maximales de débit de dose atteintes étaient de l'ordre de **1.5 mSv/h.**

- limite annuelle d'exposition d'une personne du public (1 mSv) atteinte en 40 minutes d'exposition.
- correspond à l'ordre de grandeur de la radioactivité naturelle 0,0001 mSv/h . La valeur de 1 mSv/h correspond à un rejet très important dans l'environnement.



Evolution de l'activité volumique du césium 137 et de l'iode 131 mesurée dans l'air à Tokyo du 15 au 17 mars (heure locale)

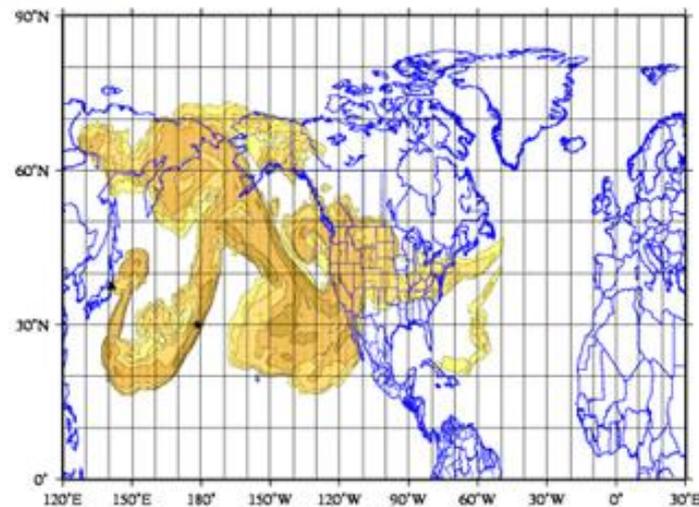


**IRSN**  
INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Accident de Fukushima\_IRSN du 12/03/2011  
Concentration moyenne sur la couche 0m-500m en Bq/m³  
19/03/2011 12h00 UTC

**METEO  
FRANCE**

<http://www.irsn.fr/FR/popup/Pages/irsn-r>



Césium 137 dans  
l'air en Bq/m³



## **5- La prise en compte du risque sismique et du risque inondation dans les centrales nucléaires d'EDF**

# SEISME

- Pour le **séisme** une situation en France qui n'est pas comparable avec celle du Japon
- le **niveau de séisme** retenu dès la conception des centrales nucléaires d'EDF est à minima 2 fois plus important que le plus grave séisme relevé en mille ans dans les régions où elles sont implantées.
- Les **normes** de conception et de construction des installations nucléaires procurent des marges importantes par rapport au séisme retenu.
- EDF **contrôle** régulièrement ses installations et fait le nécessaire pour intégrer les derniers progrès techniques et les retours d'expériences en France et à l'étranger, notamment à l'occasion des visites décennales.
- Ces vérifications constantes sont effectuées sous le contrôle vigilant de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, qui effectue plus de 450 visites et contrôles par an sur l'ensemble des installations nucléaires d'EDF". (37 visites à Chinon en 2010)
- Depuis la mise en service de son parc nucléaire en France, EDF a investi 500 millions d'euros dans des **travaux d'adaptation** au risque sismique, réalisés au fil des visites décennales de chaque réacteur. De plus, chaque année, sur l'ensemble du parc nucléaire, 2 milliards d'euros sont investis en maintenance pour garantir un niveau de sûreté optimum sur toutes les installations.

# INONDATION

- Dès la **conception** : Toutes les centrales nucléaires ont été construites sur des plates-formes dont la hauteur a été calculée pour qu'elles ne soient jamais inondées. Leur hauteur a alors été déterminée par une Cote Majorée de Sécurité (CMS) calculée à partir de la cote d'une crue millénale pour les sites en bord de rivière, et d'une surcote marine millénale pour les sites en bord de mer ou d'estuaire.
- **Surcote** : La majoration de 15% de la CMS décidée par l'Autorité de sûreté Nucléaire en 1984, pour accroître encore plus la marge de sécurité, a conduit EDF à recalculer les CMS de sites déjà construits et à mettre en place des systèmes d'étanchéité supplémentaires. Pour le site de Flamanville qui accueillera le premier réacteur EPR, la plate-forme de la centrale se situe ainsi 4,6 mètres au dessus de la CMS.
- **Blayais 1999** : EDF a également tiré les leçons de la tempête historique du 27 décembre 1999 qui a vu les vagues de l'estuaire de la Gironde passer par dessus la digue de protection de la centrale du Blayais. EDF a engagé une grande révision des dispositifs existants et réalisé des travaux pour améliorer encore plus la protection de certains sites vis à vis du risque inondation.
- **Tsunami** : Compte tenu de la configuration des plaques tectoniques de l'océan Atlantique et de la Mer du Nord, les tsunamis susceptibles d'être ressentis sur les côtes françaises seraient de faible amplitude : les ondes de submersion qui pourraient en résulter conduiraient à une surélévation du niveau de la mer inférieure à celles qui résultent de phénomènes de houle extrême déjà pris en compte pour la protection des sites de bord de mer.

# Programme de contrôles sur le parc EDF 1/2

La phase de **très court terme** consiste (mi mai 2011) :

- A faire des vérifications de la conformité de nos sites aux exigences actuelles d'opérationnalité des moyens d'exploitation permettant de faire face à une situation exceptionnelle ;
- A proposer et définir dans les principes des moyens nationaux d'intervention dédiés (matériels et personnels qualifiés) sur un site ayant perdu la (quasi) totalité de ses moyens propres
- A réinterroger le dimensionnement des équipes d'intervention sur les sites (conduite, astreintes...) et le dimensionnement de l'ONC ;
- A proposer le contenu et les modalités des « revues de conception et d'exploitation » (« études de la sûreté au regard de l'accident de Fukushima » ; « audits de tranches » ; « tests de résistance » ; WENRA : « targeted reassessment of the safety margins »).

# Programme de contrôles sur le parc EDF 2/2

## La phase de court terme consiste :

- A préparer les revues de conception et d'exploitation, et pour cela, réinterroger les référentiels d'exigences actuels impactés potentiellement par le REX de Fukushima, à savoir :
  - Séisme
  - Inondations externes ;
  - Perte totale des alimentations électriques, perte totale de la source froide, et cumul des deux (« H1+H3 »)
  - Confinement BK et refroidissement des piscines ;
  - Limitations des conséquences d'une situation d'accident grave avec dégradation du combustible (ligne de défense ultime).
- A réaliser ces revues pour les 20 CNPE (y compris FLA3), Creys-Malville et Brennilis ;
- A définir en détail les moyens nationaux d'intervention rapide à mettre en place, et l'organisation associée.

# Impacts sur nos projets

- **Penly 3 : mobilisation maintenue**  
**=> enquête publique en juin 2011 confirmée par la**  
**Ministre de l'environnement**
- **Coordination EDF, EDF Energy, CENG et Chine**
- **MOX Blayais : maintien des objectifs EDF**  
**=> enquête publique en juillet.**

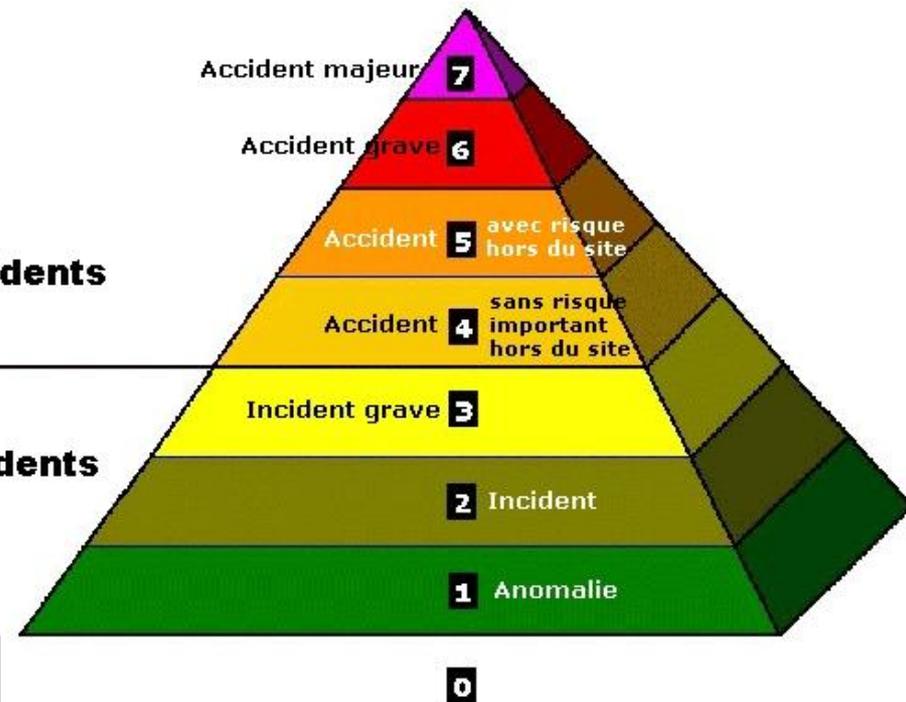
# Annexes

- Actions de radioprotection
- Radioprotection
  - Exposition interne / externe
  - Echelle d'exposition
  - Mesure de la radioactivité
- Conditions d'intervention en situation d'urgence radiologique en France
- GIE intra : groupe d'INTervention Robotique sur les Accidents nucléaires

# Échelle INES

**Accidents**

**Incidents**



I	secousse non ressentie, mais enregistrée par les instruments
II	secousse partiellement ressentie, notamment par des personnes au repos et aux étages
III	secousse faiblement ressentie, balancement des objets suspendus
IV	secousse largement ressentie dans et hors les habitations, tremblement des objets
V	secousse forte, réveil des dormeurs, chute d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres
VI	légers dommages, parfois fissures dans les murs, frayeur de nombreuses personnes
VII	dégâts, larges lézards dans les murs de nombreuses habitations, chutes de cheminées
VIII	dégâts massifs, les habitations les plus vulnérables sont détruites, presque toutes subissent des dégâts importants
IX	destructions de nombreuses constructions, quelquefois de bonne qualité, chute de monuments et de colonnes
X	destruction générale des constructions, même les moins vulnérables (non parasismiques)
XI	catastrophe, toutes les constructions sont détruites (ponts, barrages, canalisations enterrées...)
XII	changement de paysage, énormes crevasses dans le sol, vallées barrées, rivières déplacées...

# Échelle MSK

# ORGANISATIONS DE CRISE NUCLÉAIRE

PUI et PPI, organisation locale de crise



Pouvoirs Publics



## Plan d'Urgence Interne (PUI)

## Plan Particulier d'Intervention (PPI)

RESPONSABLES

**Le Directeur du site**  
appuyé par  
l'Organisation Nationale de Crise EDF  
**(ONC)**

**Le Préfet**  
conseillé par  
l'**ASN** appuyé par la **DSC**  
(Direction de la Sécurité Civile)

MISSIONS

### Décider et agir à l'intérieur du site

- Alerter et mobiliser les ressources
- Maîtriser la situation et limiter les conséquences
- Protéger, porter secours, informer le personnel
- Informer et communiquer avec les pouvoirs publics et les médias

### Décider et agir à l'extérieur du site

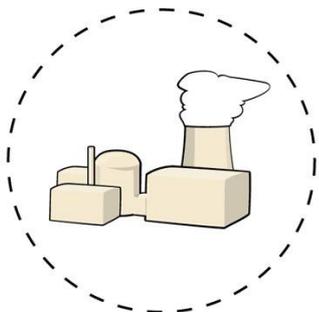
- Alerter et protéger les populations
- Prévoir les mesures et les moyens de secours à mettre en œuvre pour faire face à l'événement
- Informer les populations, les médias et les élus locaux



# INFORMATIONS DES PERSONNES

sur site et hors site

## RESPONSABILITÉ EDF



Protections adaptées  
du personnel restant  
sur site en fonction  
des activités assurées

Eloignement du  
personnel non utile  
à la gestion de la crise

## RESPONSABILITÉ POUVOIRS PUBLICS PPI (Plan Particulier Intervention)

Zones autour du site  
2 km

5 km

10 km

### PHASE REFLEXE

Mise à l'abri immédiate  
si nécessaire

SAPPRE



SIRENES



Informations régulières

Télévision - Radios



Tout autre moyen à disposition

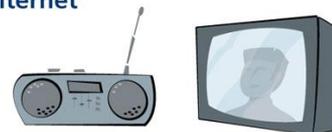
### PHASE CONCERTÉE

Informations régulières en fonction de la situation

Equipes Mobiles d'Alerte (EMA)



Télévision - Radios - Internet  
Moyens communaux



Véhicules d'Assistance  
aux Blessés (VAB)



Hélicoptère



# Actions de protection

En situation accidentelle, le **Préfet** peut prendre **trois types de mesures de protection**:

## MISE À L'ABRI



Protection de l'organisme  
si dose prévisible  
**CORPS ENTIER 10 mSv**

## PRISE DE COMPRIMÉ D'IODE



Protection de la thyroïde  
si dose prévisible  
**THYROÏDE 50 mSv**

## EVACUATION



Protection de l'organisme  
si dose prévisible  
**CORPS ENTIER 50 mSv**

# Radioprotection : exposition interne et externe

## Exposition interne

On parle d'exposition interne lorsque des substances radioactives ont pénétré dans le corps.

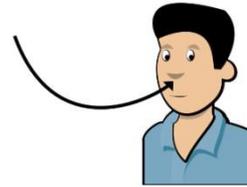
(3 modes d'exposition possibles – cf schéma ci-contre)

## Exposition externe

En situation accidentelle, les sources radioactives sont :

D'une part les particules radioactives (poussières) présentes dans l'air du fait des rejets radioactifs dans l'atmosphère,  
D'autre part, les dépôts radioactifs sur le sol.

La source radioactive a pénétré dans l'organisme



Par inhalation de particules radioactives



Par ingestion d'aliments contaminés

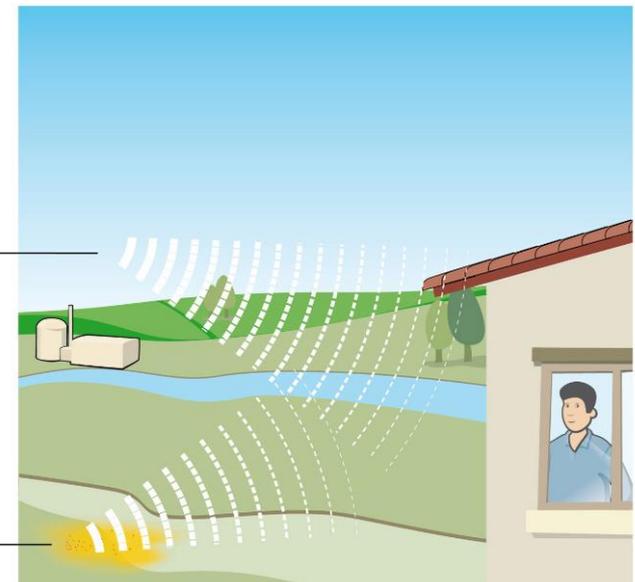


Par passage cutané (plaie)

La source radioactive est à l'extérieur du corps

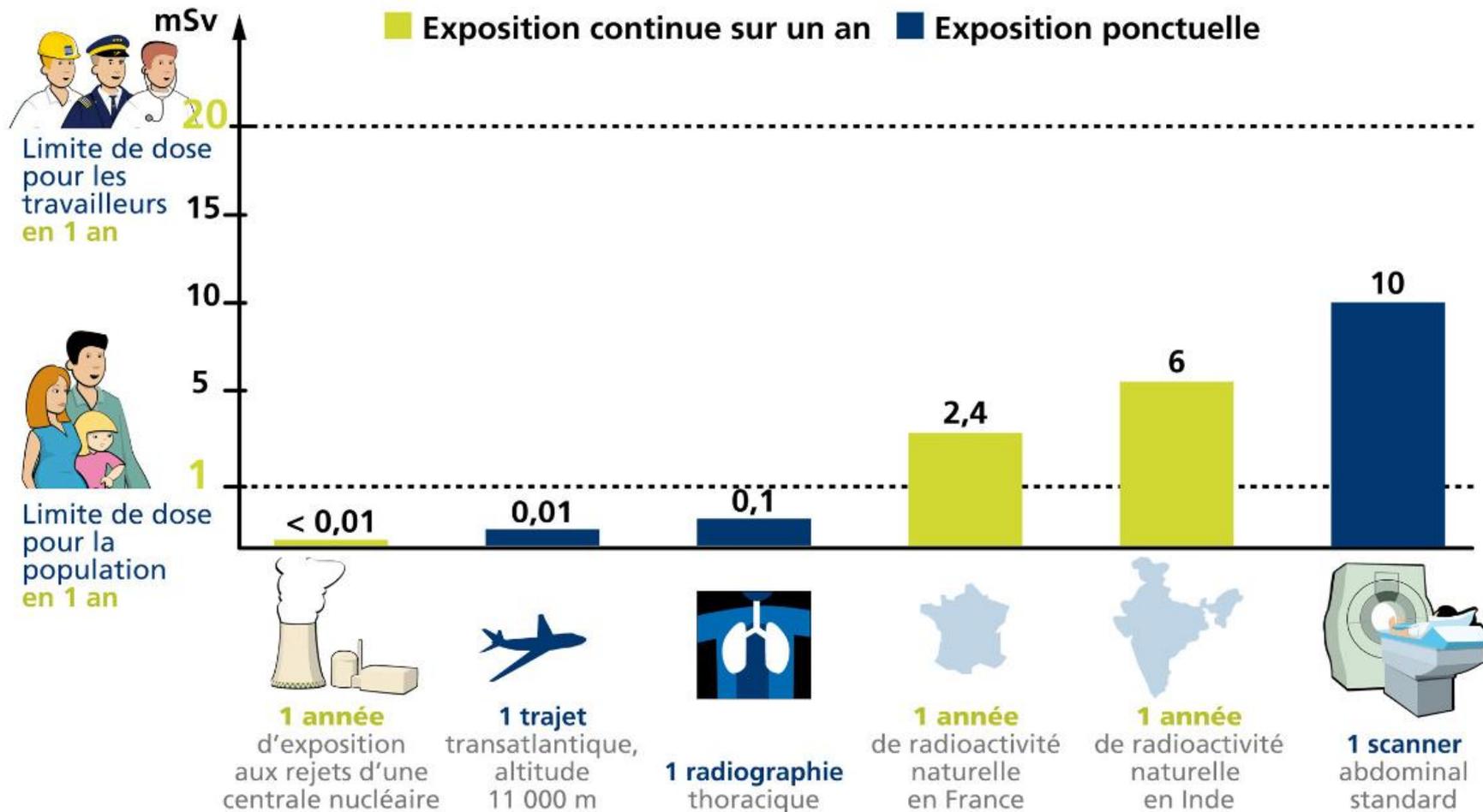
Rejets radioactifs dans l'atmosphère

Dépôts radioactifs



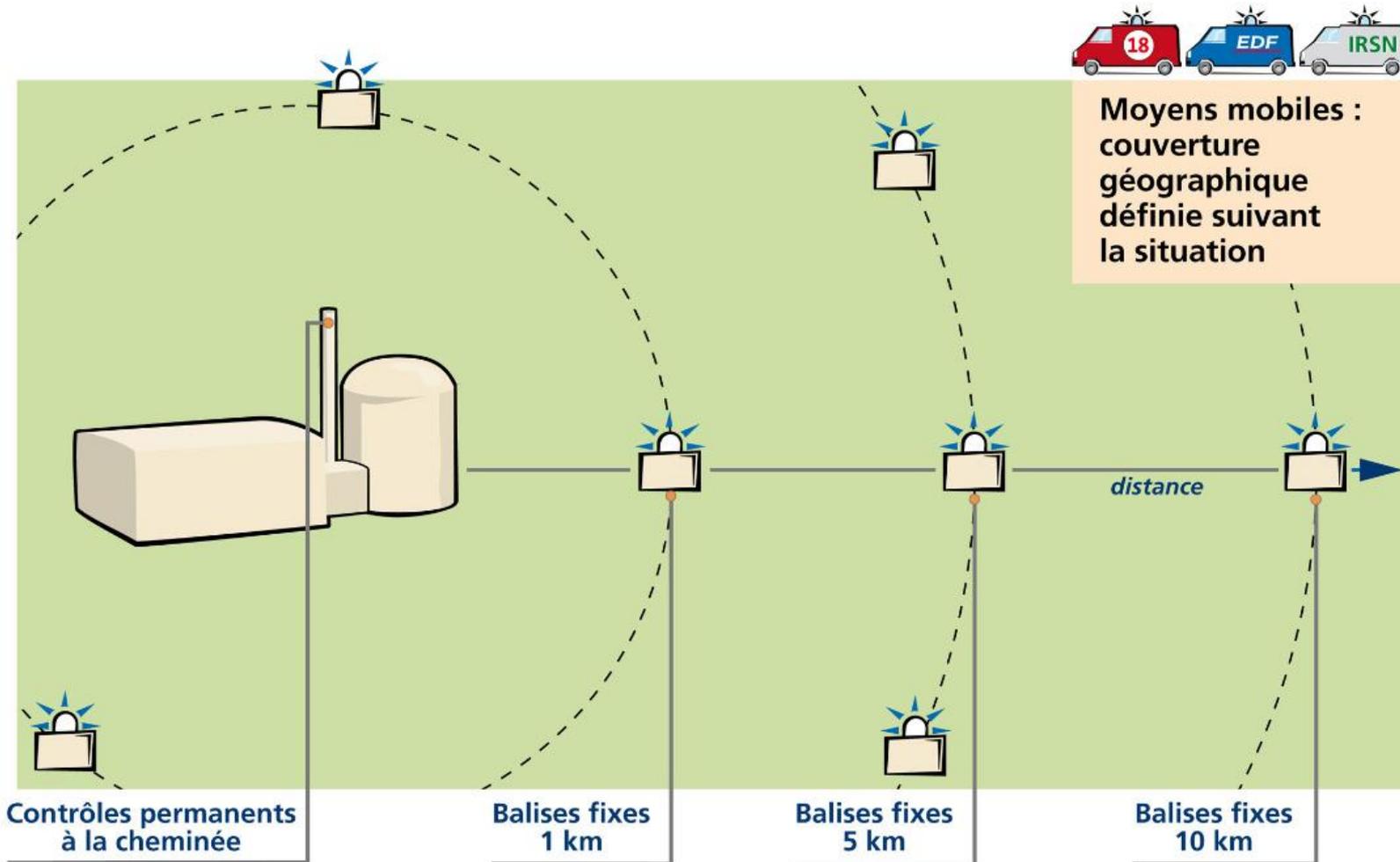
# Radioprotection : échelle d'exposition

## Les seuils réglementaires



# Radioprotection : mesure de la radioactivité

En situation accidentelle, des moyens de mesures fixes et mobiles permettent de contrôler la radioactivité ambiante.



# Conditions d'intervention en situation d'urgence radiologique en France

En cas de crise nucléaire, en France, interventions encadrées et définies par :

- la réglementation française (2003),
- le Code de la santé publique (2007),
- le Code du travail (2005).

Intervention réalisée par un groupe d'intervention, appelé Groupe 1, composé :

- des équipes de sapeurs pompiers,
- des équipes du SAMU,
- des équipes spécialisés du CEA,
- des équipes d'intervention du GIE intra (cf. slide suivant),
- des équipes d'intervention de l'IRSN.

Possibilité de compléter ce 1<sup>er</sup> groupe

- Par des équipes spéciales d'intervention (personnels des CNPE),
- Liste préalable établie sur chaque site avec différents critères (être habilité à travailler en zone nucléaire, être volontaire, informé des risques encourus, etc.),
- Plus la liste est longue, plus il est possible de mener un travail d'équipe limitant l'exposition des intervenants.

# GIE intra : groupe d'INTervention Robotique sur les Accidents nucléaires

Composition : EDF (50 %), le CEA (37,5 %) et Areva (12,5 %).

Objectif : mutualiser des moyens d'intervention en situation d'accident nucléaire grave.

Mission :

Conception, exploitation et mise à disposition 24h/24 d'une flotte d'engins robotisés capables d'intervenir, à la place de l'homme, en cas d'accident nucléaire majeur, dans et autour de bâtiments industriels.

Capacité des différents matériels télécommandés :

- intervention en intérieur et en extérieur,
- évolution en milieu irradiant,
- réalisation des travaux publics et des gestes techniques complexes (prélèvements d'échantillons, récupération de débris, balisage, etc.)
- réalisation des cartographies aériennes,
- Réalisation de mesures de radioactivité,
- Filmes images et de les télétransmettre.

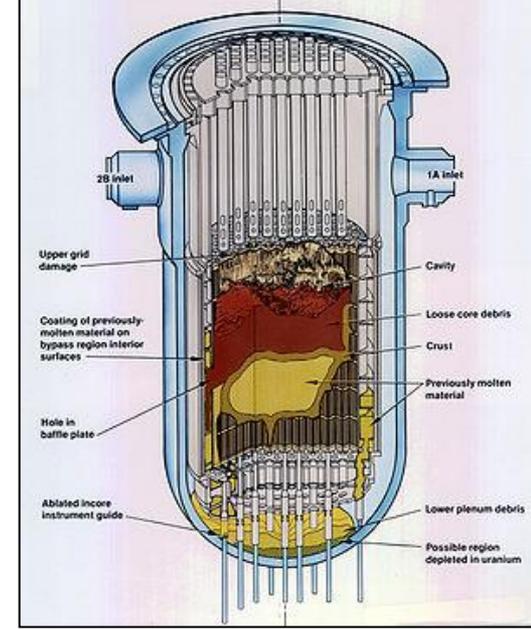
Groupe installé sur le site de CHINON, dans les locaux de l'ancienne centrale nucléaire A2.

Type	INES	Incidence hors site	Incidence sur site
Accident majeur	7	Rejet majeur : effet étendu sur la santé et l'environnement.	Mort de plusieurs personnes sur le site et destruction de l'installation
Accident grave	6	Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues.	
Accident (entraînant un risque hors du site)	5	Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues.	Endommagement grave du réacteur ou des barrières radiologiques.
Accident (n'entraînant pas de risque important à l'extérieur du site)	4	Rejet mineur: exposition du public de l'ordre des limites prescrites.	Endommagement important du réacteur ou des barrières biologiques, ou exposition létale d'un travailleur.
Incident grave	3	Très faible rejet : exposition du public représentant une fraction des limites prescrites.	Contamination grave ou effets aigus sur la santé d'un travailleur.
Incident	2	(pas de conséquence)	Contamination importante ou surexposition d'un travailleur.
Anomalie	1		(pas de conséquence)

**Tchernobyl 1986**  
 Fusion totale  
 Confinement détruit  
 Incendie de graphite



**TMI -1979**  
 Fusion partielle  
 Confinement intact



onfiguration

# Prise en compte des accidents graves

## Moyens de mitigation

Enceinte de confinement dimensionnée pour le risque déflagration hydrogène

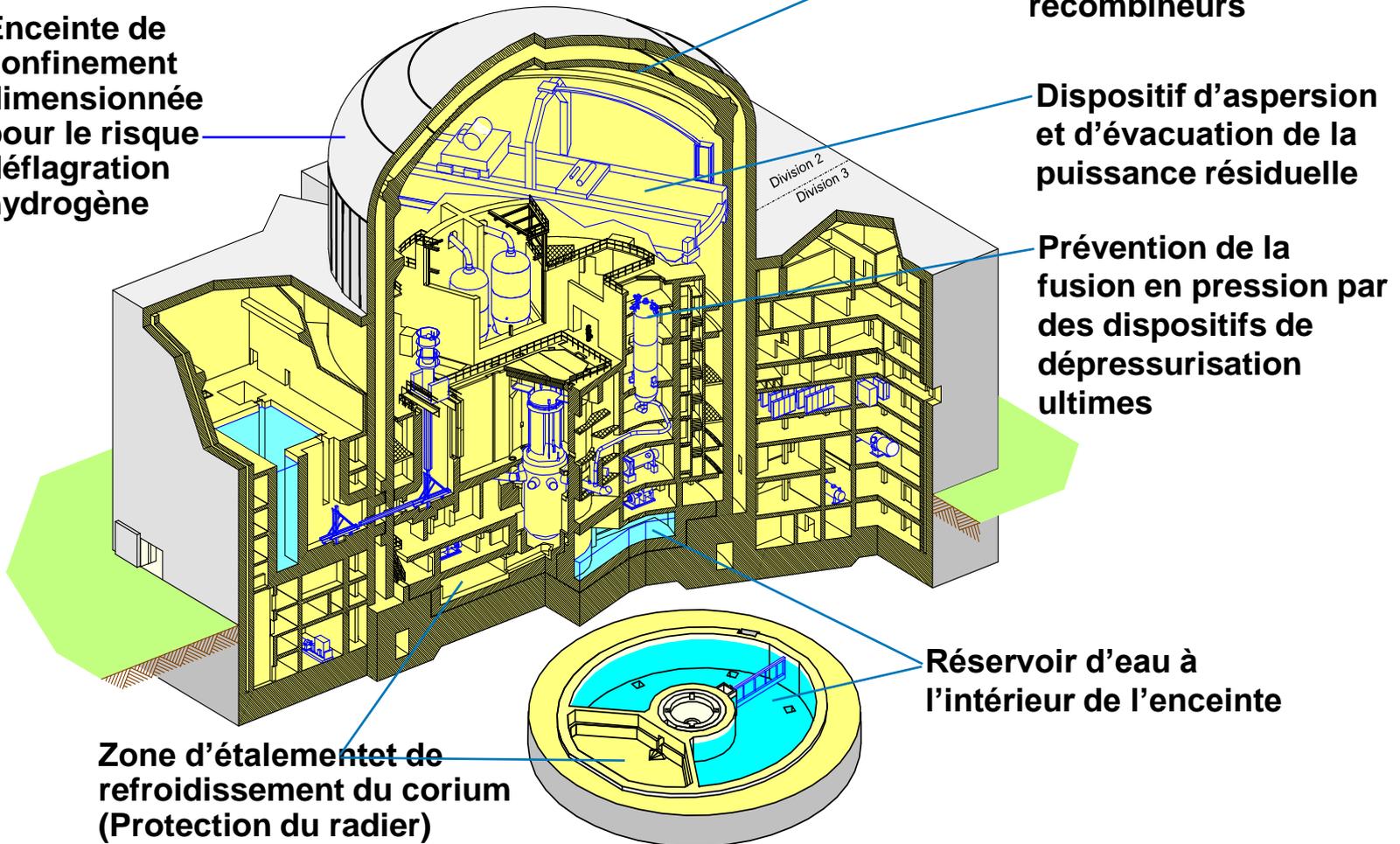
Prévention du risque de détonation H<sub>2</sub> par installation de recombineurs

Dispositif d'aspersion et d'évacuation de la puissance résiduelle

Prévention de la fusion en pression par des dispositifs de dépressurisation ultimes

Zone d'étalement et de refroidissement du corium (Protection du radier)

Réservoir d'eau à l'intérieur de l'enceinte



# Prise en compte des agressions externes

## « Coque avion »

