



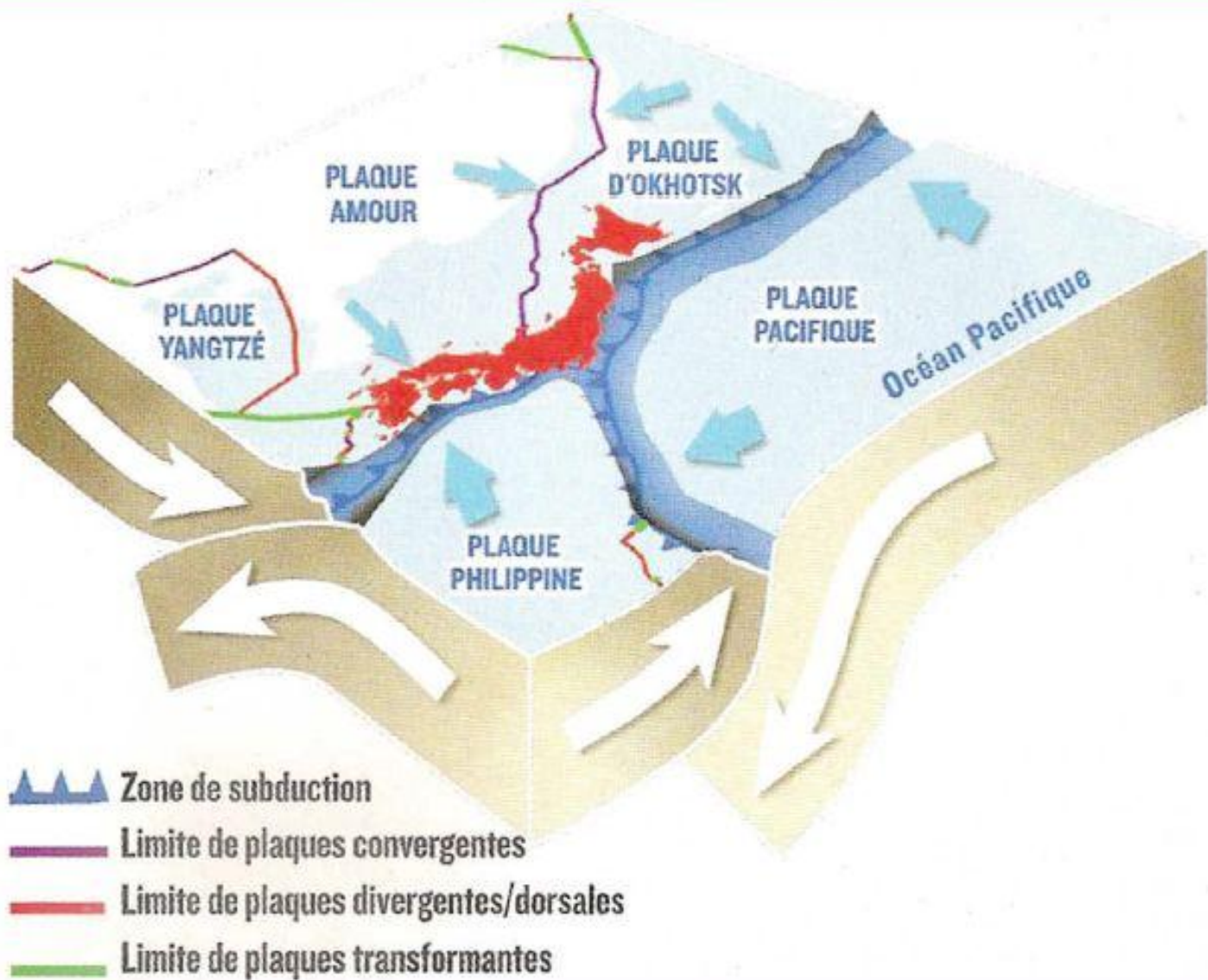
Japon 11 Mars 2011

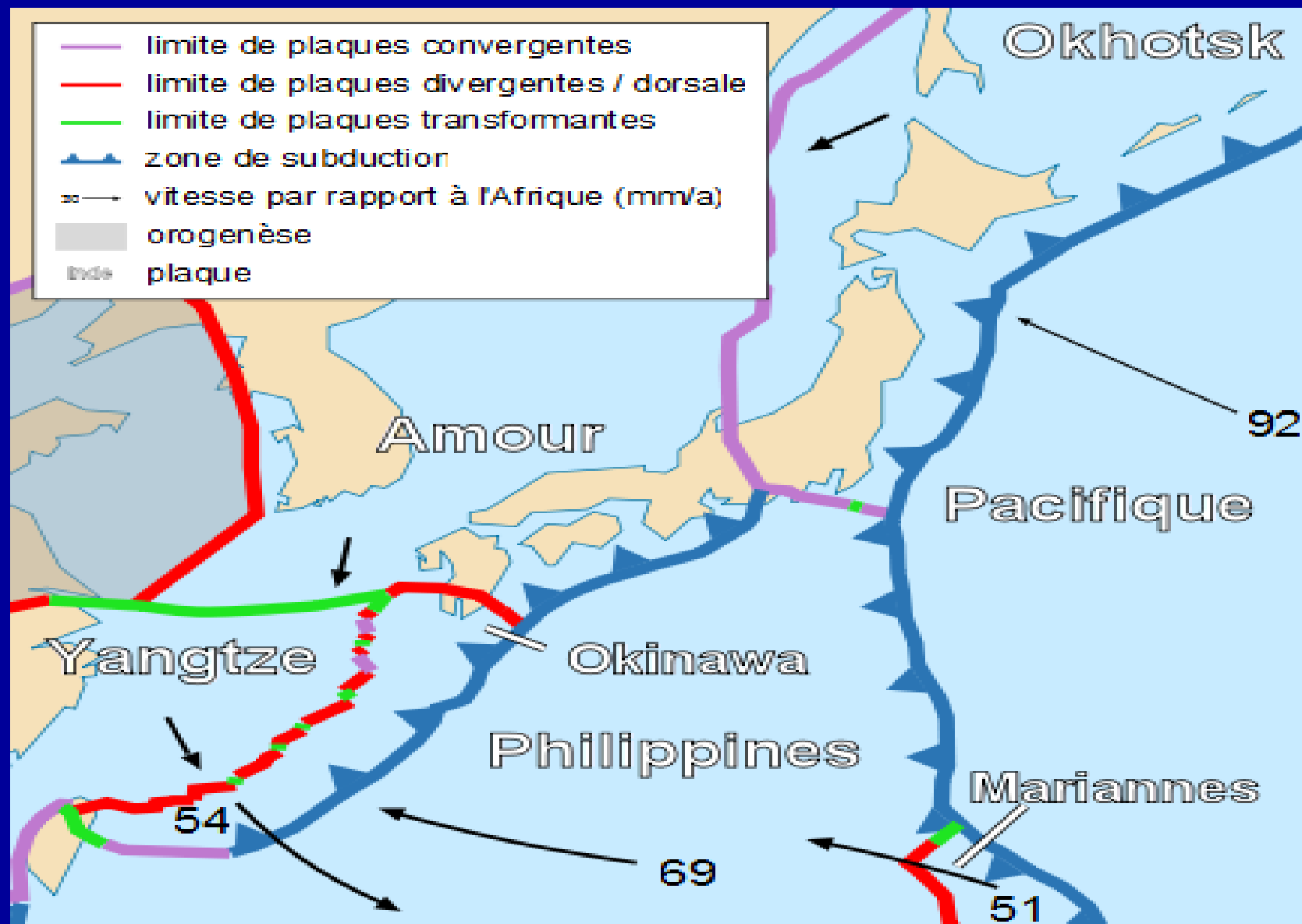
Séisme et Tsunami de SENDAI

FUKUSHIMA DAI-ICHI

Et l'exorde, pour nous en sera ce principe
que rien ne naît, jamais, divinement de rien.

Lucrèce. De la nature des choses.





SEISMES

- Accumulation d'énergie dans la ligne de rencontre de 2 plaques tectoniques.
- Libération brutale de l'énergie par un mouvement de glissement: séisme principal, suivi de ripage successifs: répliques.

SENDAI 11-03-2011 à 14 h 46 min 23 s

- glissement brutal — estimé à 10 m de hauteur — d'une très grande faille inverse de 400 à 500 km de long et 30 km d'épaisseur située à quelque 120 km des côtes japonaises. Magnitude 8,9.
- Profondeur épicentre 32km.
- Profondeur fond marin 1 000 m.
- Mode de propagation des ondes. Liquéfaction de sol.

TSUNAMI

- Développement d'un mouvement apériodique amorti d'amplitude d'autant plus grande que le fond marin est faible.
- Mode de propagation rapide.

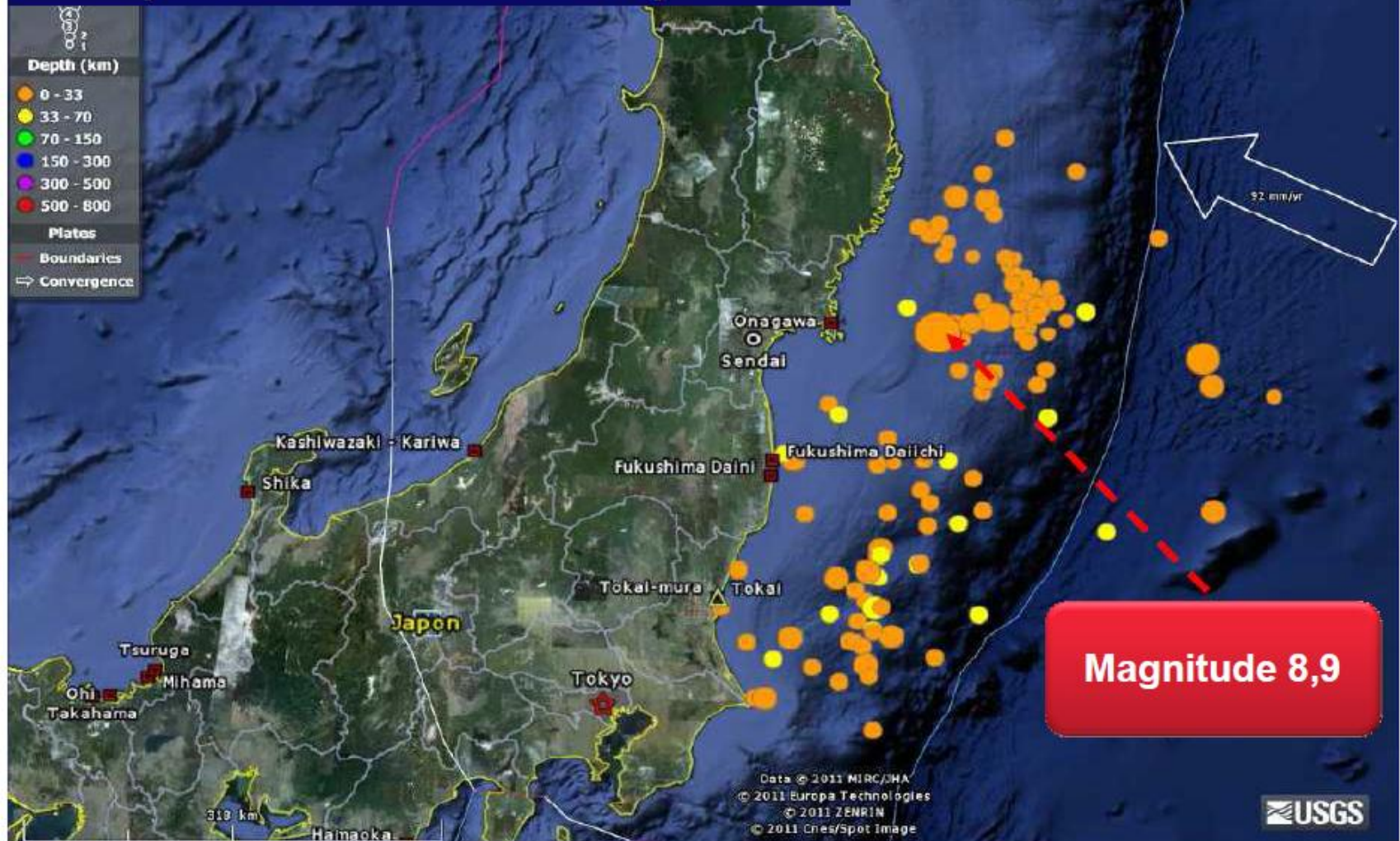
Tsunami heure d'arrivée à Fukushima 15h42

- Temps avant l'arrivée à la cote: 56 mn.
- Vitesse moyenne: 112 km/h, 3,1 m/s.
- Ralentissement par frottement de l'ordre d'un facteur 10.
- Longueur de l'onde à l'arrivée sur la cote $\sim 1\,000$ m.
- Hauteur moyenne de l'onde à Fukushima: 15 m.

le séisme du 11 mars

arrêt automatique des réacteurs 1 à 3

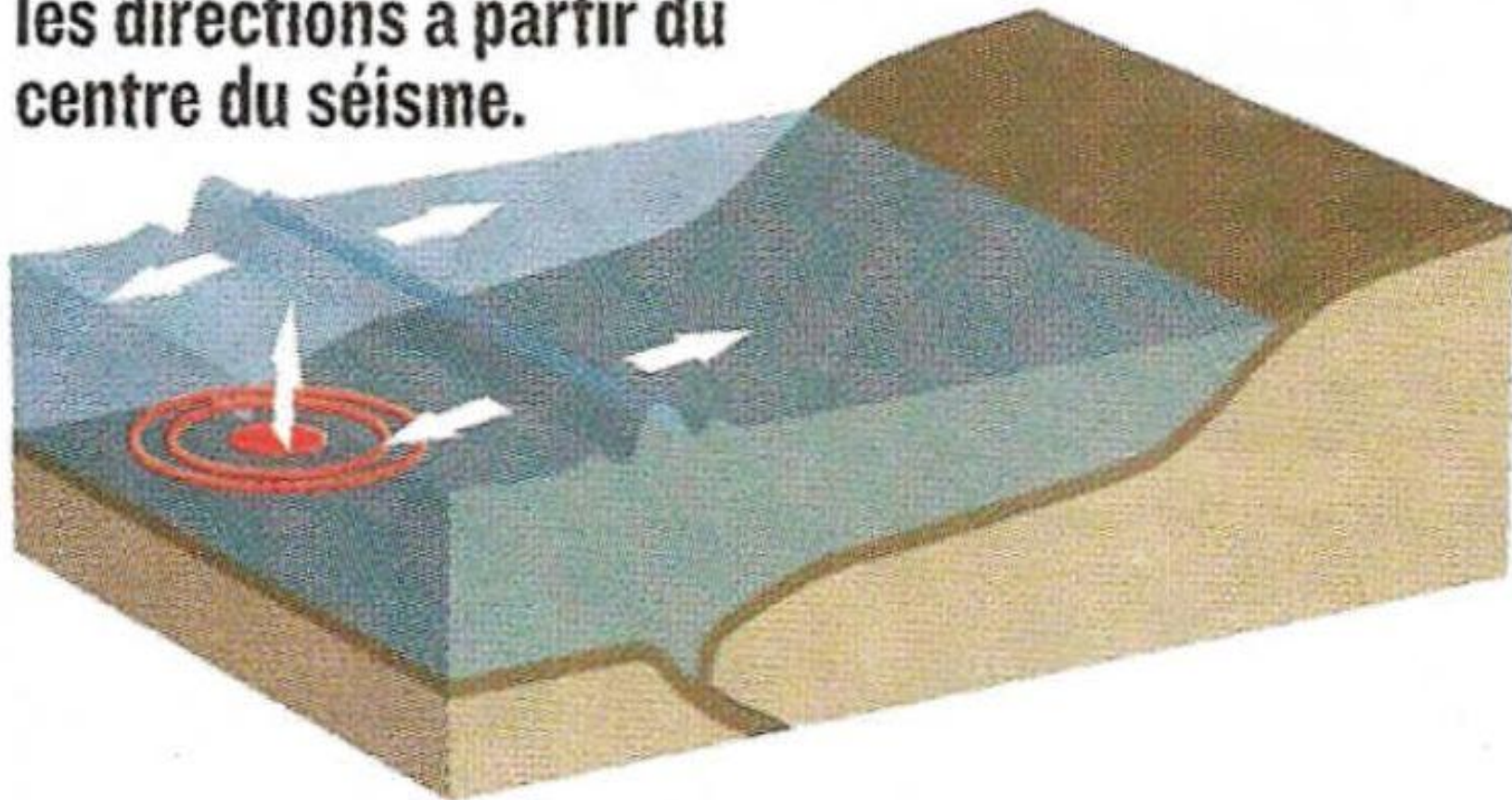
perte du réseau électrique





Vortex d'amorçage

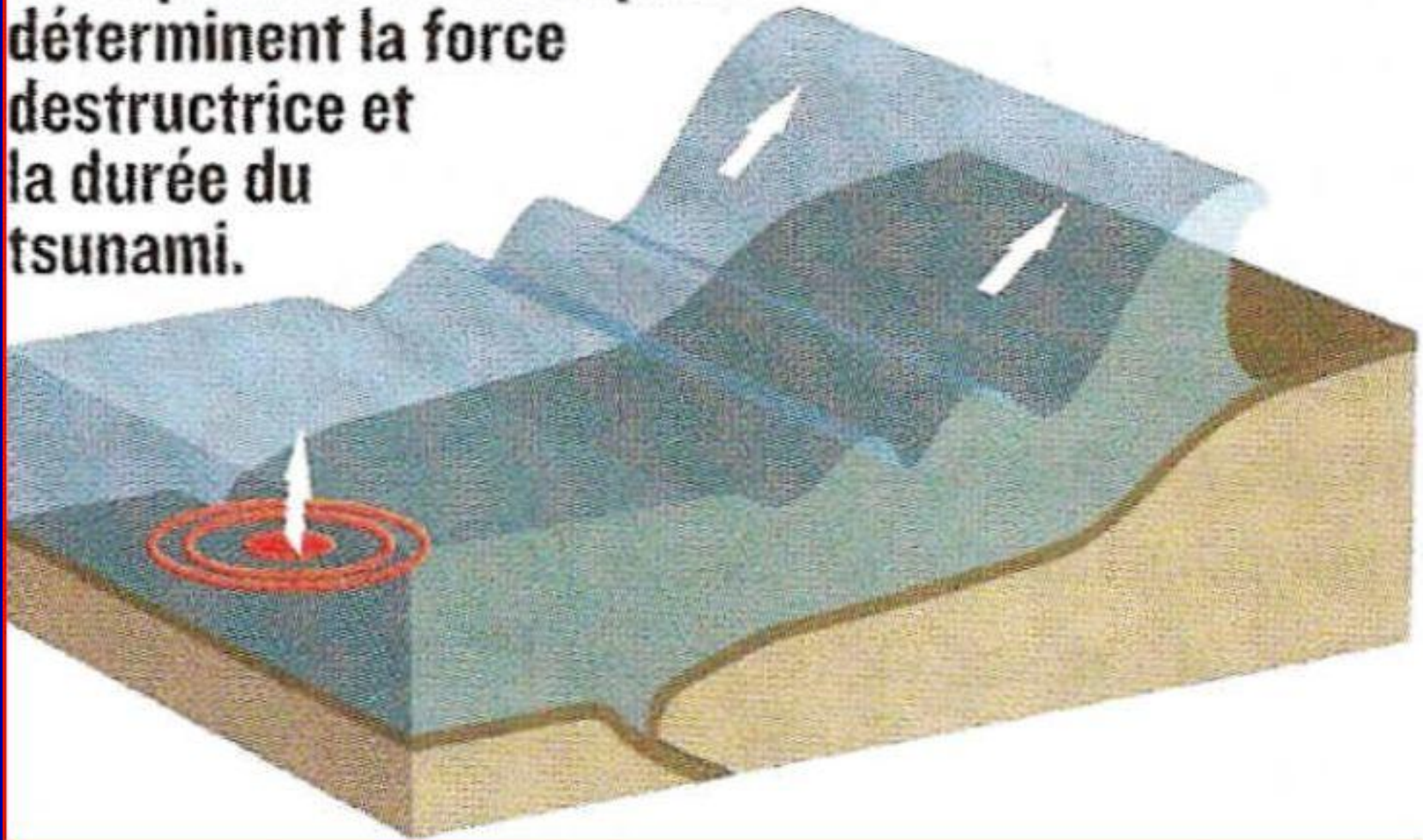
① Une masse d'eau est projetée dans toutes les directions à partir du centre du séisme.



② La vague gonfle quand les fonds marins s'élèvent et engendre un recul de la mer sur les côtes.

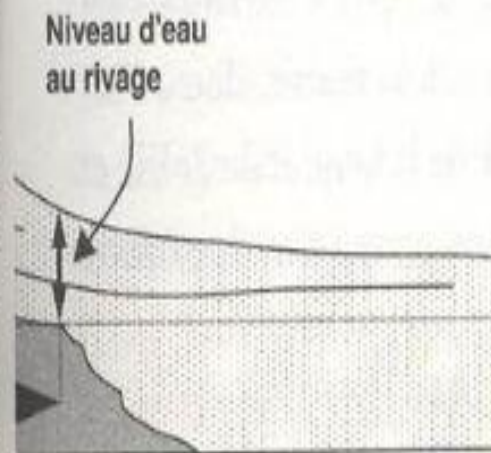
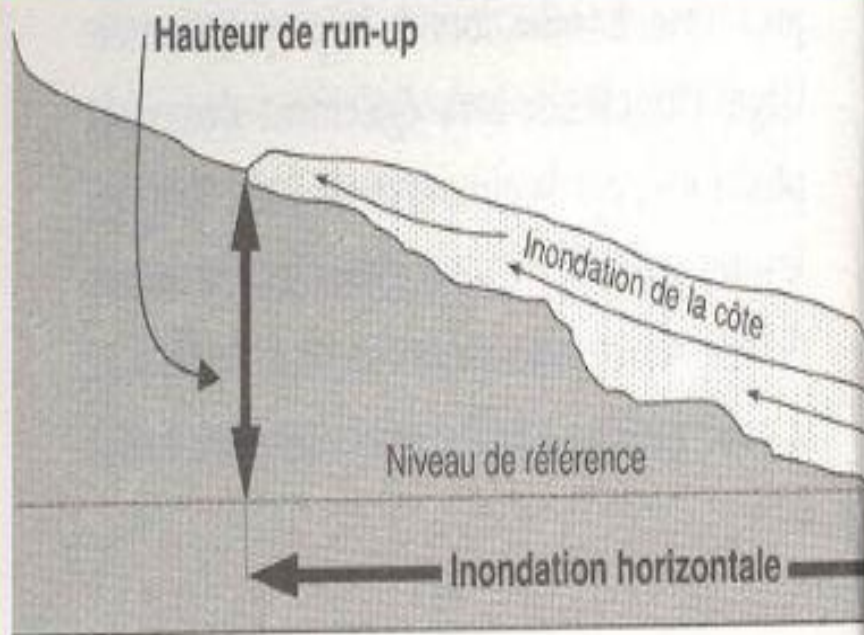


③ La durée de l'élévation du niveau de l'eau et la quantité d'eau déplacée déterminent la force destructrice et la durée du tsunami.



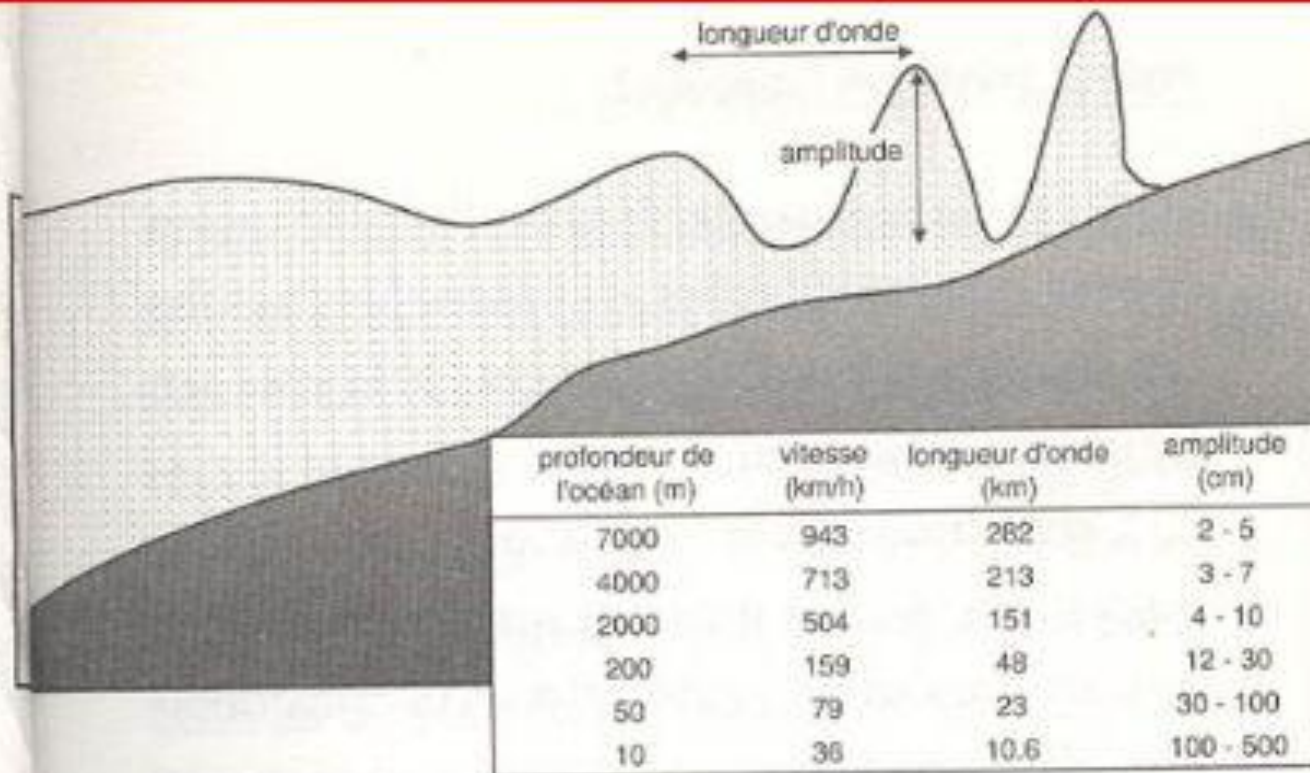


le raz-de-marée du 11 mars
perte des moyens de secours
de refroidissement : réacteurs & piscines



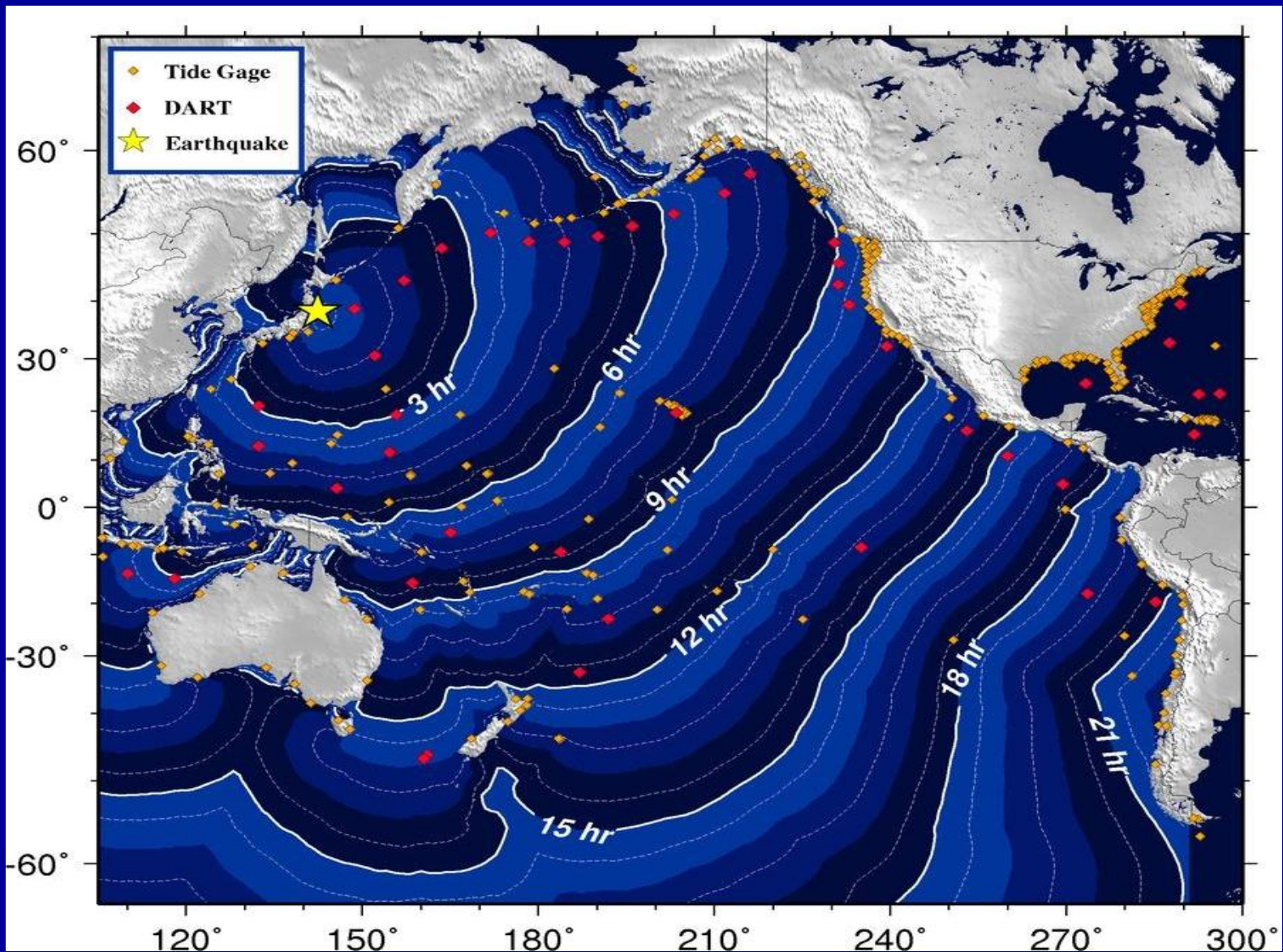
Effet d'un tsunami sur une côte. Le flot de la mer atteint une altitude maximale (le run-up) qui, sur ce schéma, est supérieure au niveau de l'eau au rivage. Dans certains cas, le run-up peut être mesuré sur un terrain moins élevé que le niveau d'eau au rivage. On définit également l'inondation horizontale, distance séparant horizontalement le point du run-up et le rivage.

Cotes en pente douce

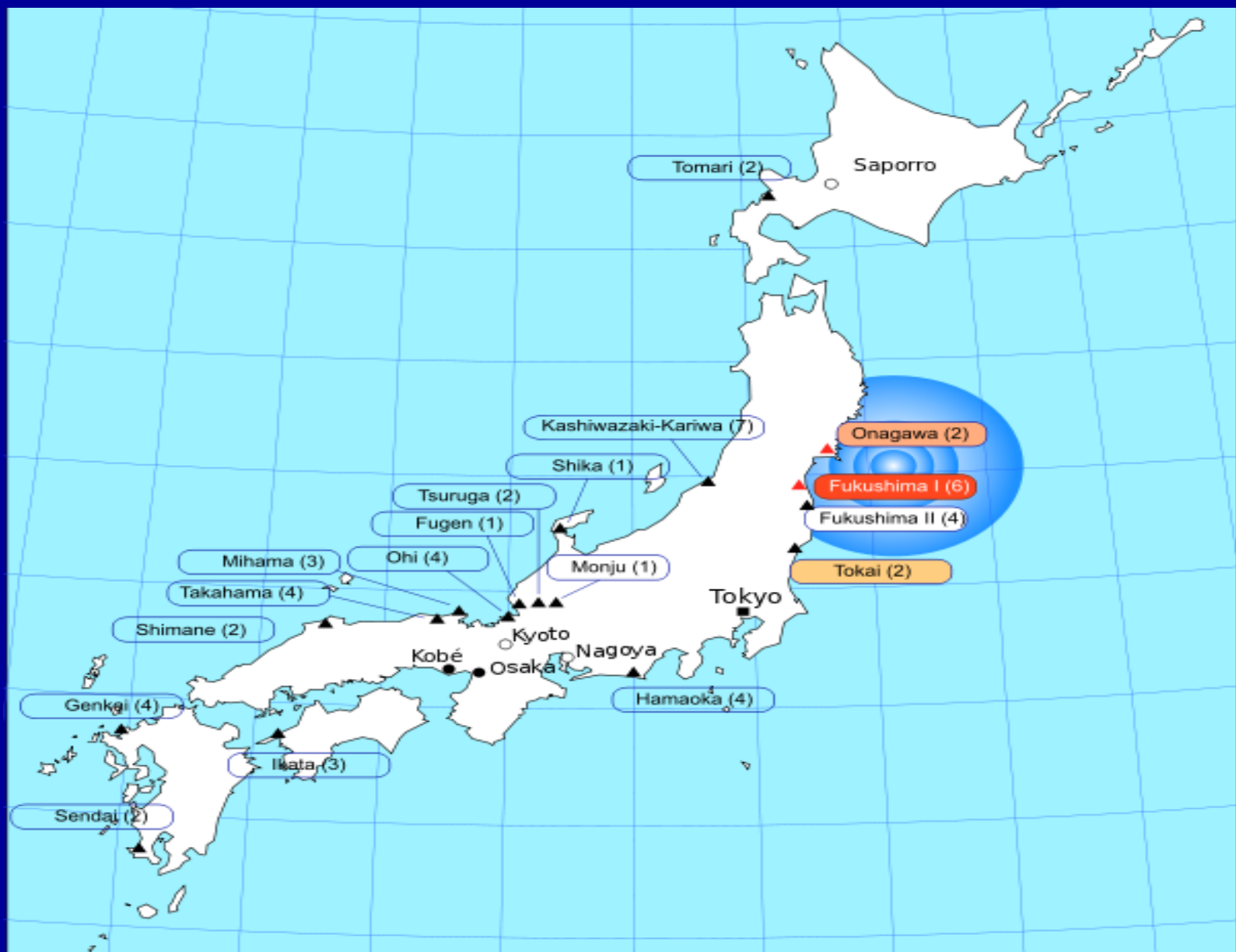


Raccourcissement des longueurs d'onde d'un tsunami à l'approche des côtes. Par conservation de l'énergie, les amplitudes augmentent. Les amplitudes indiquées ici correspondent à une amplification forte pour des pentes douces.

Cotes abruptes



Propagation du tsunami dans les océans



Centrales nucléaires proches







Port de Sendai après passage du tsunami



Phénomène de fireball



Explosion-Reservoir-Ichihara

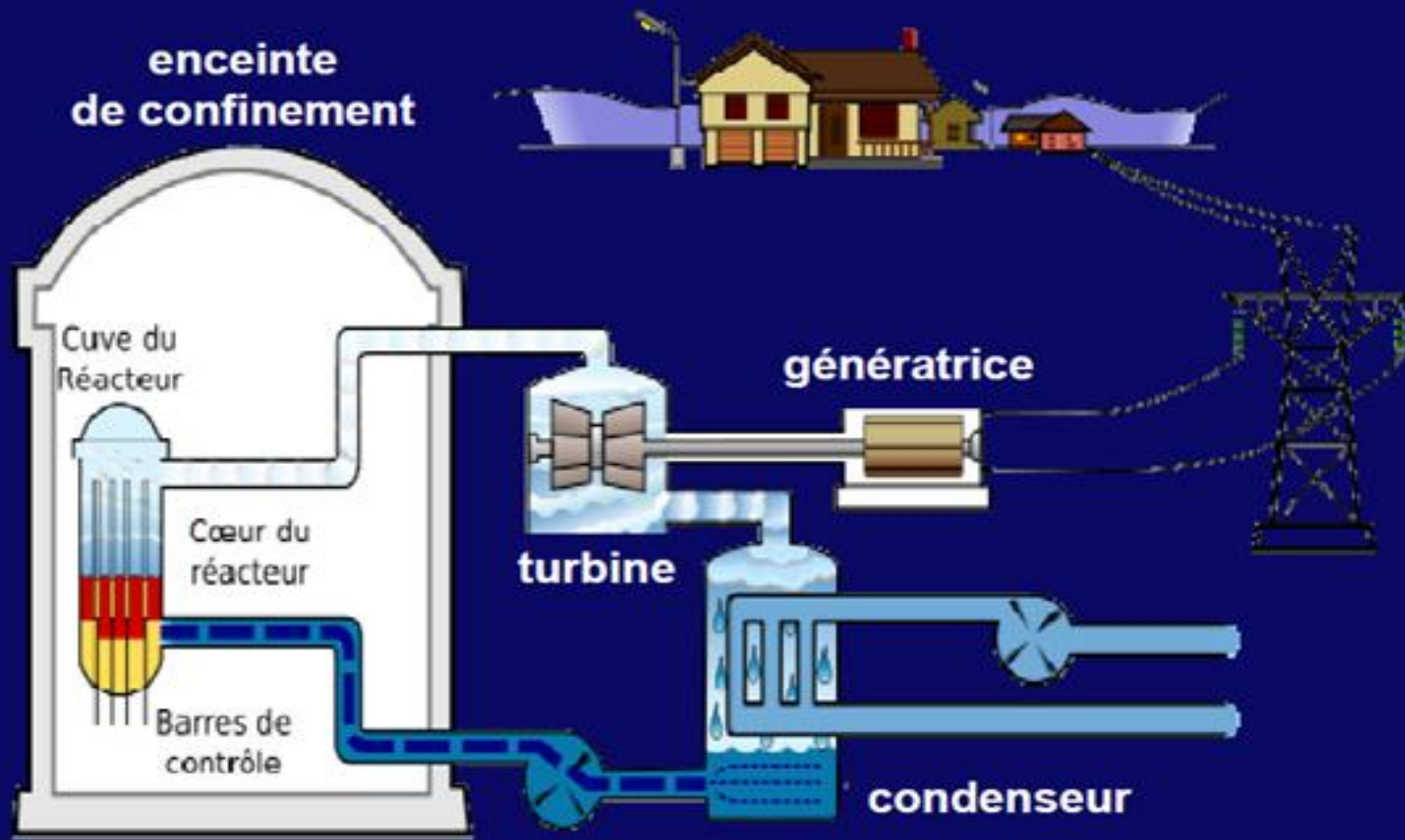
La centrale de Fukushima Daiichi



centrale

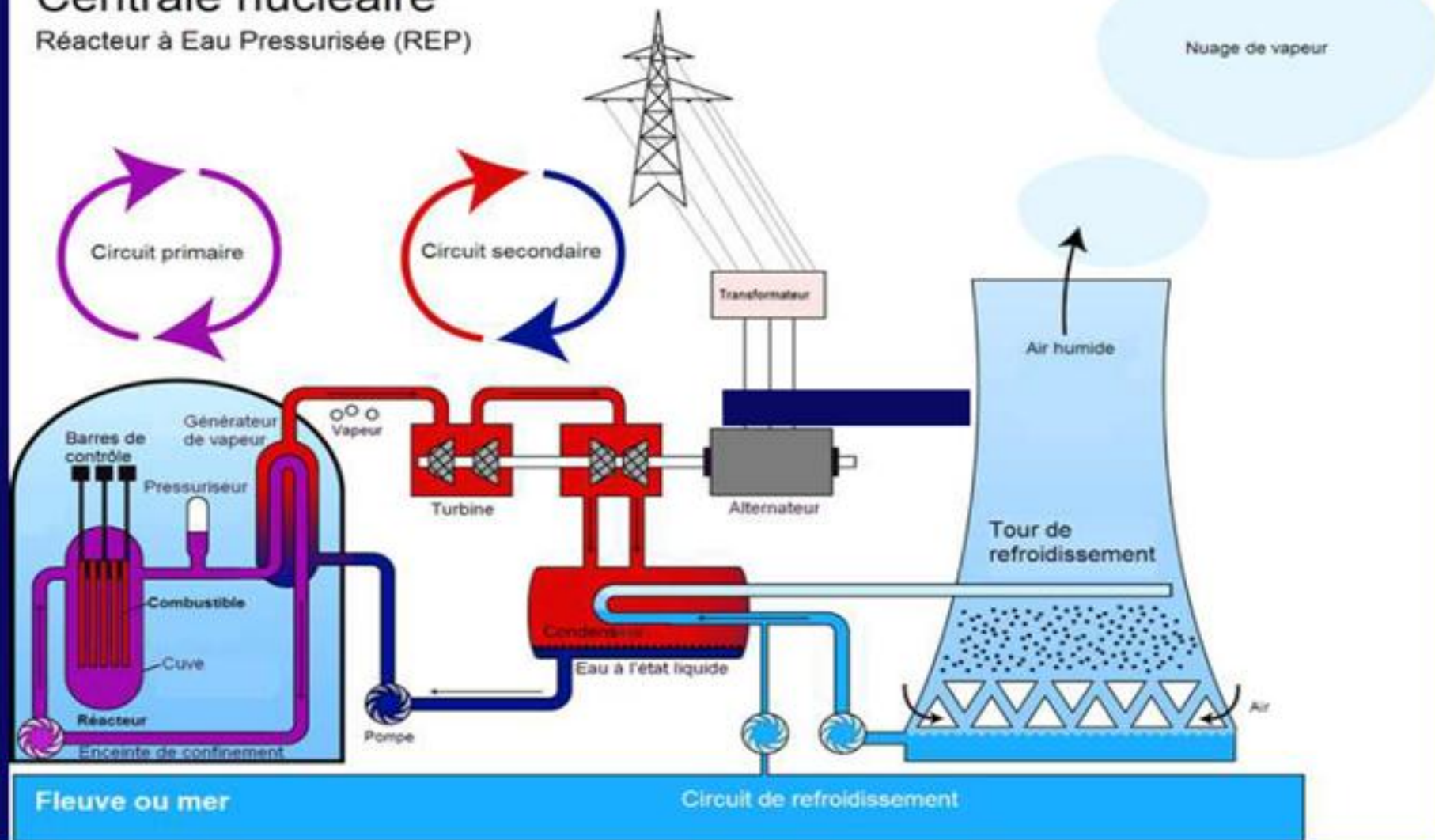


réacteur à eau bouillante



Centrale nucléaire

Réacteur à Eau Pressurisée (REP)



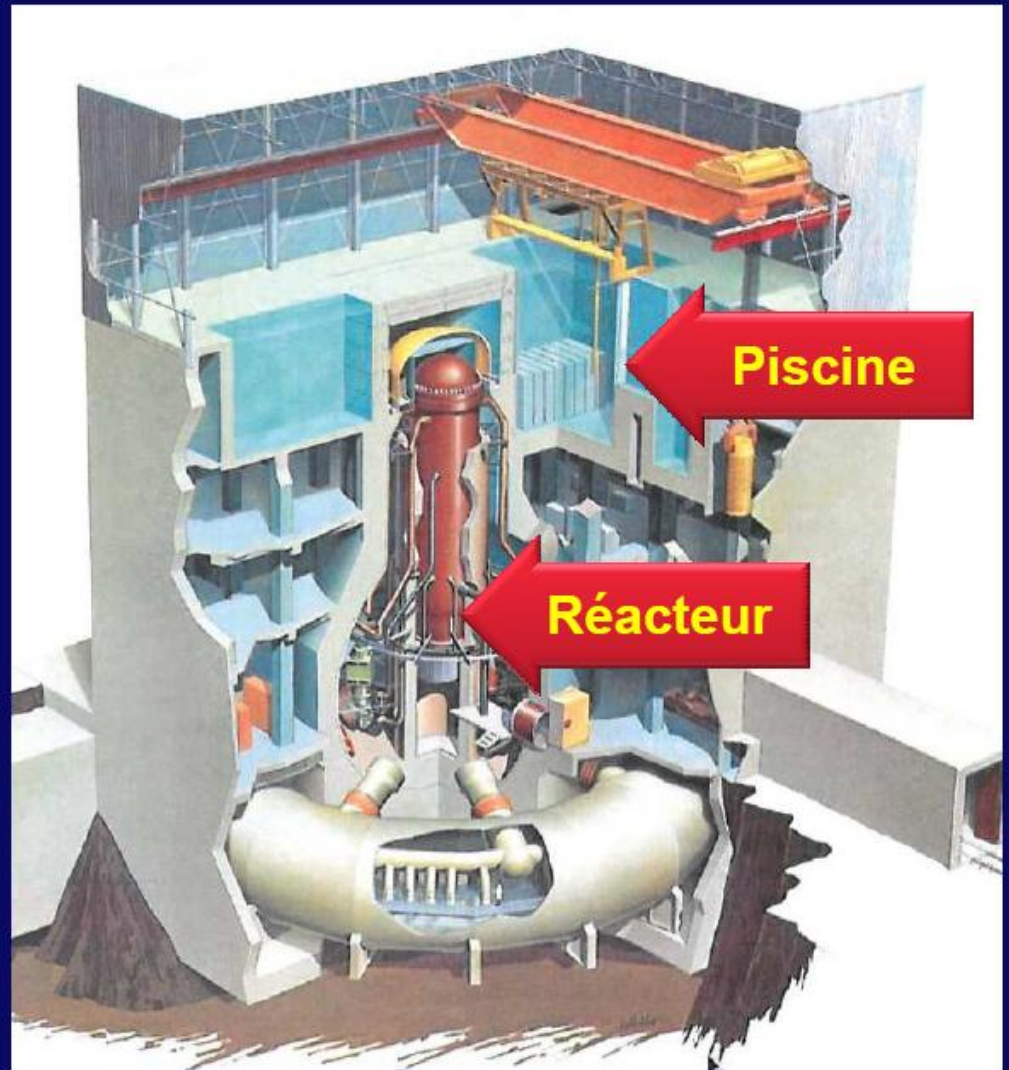
La sûreté nucléaire

Une triple barrière pour confiner les produits radioactifs

Un des principaux dispositifs conçus pour garantir la sûreté des centrales nucléaires consiste à enfermer dans trois barrières de confinement superposées les produits radioactifs présents dans le cœur du réacteur.

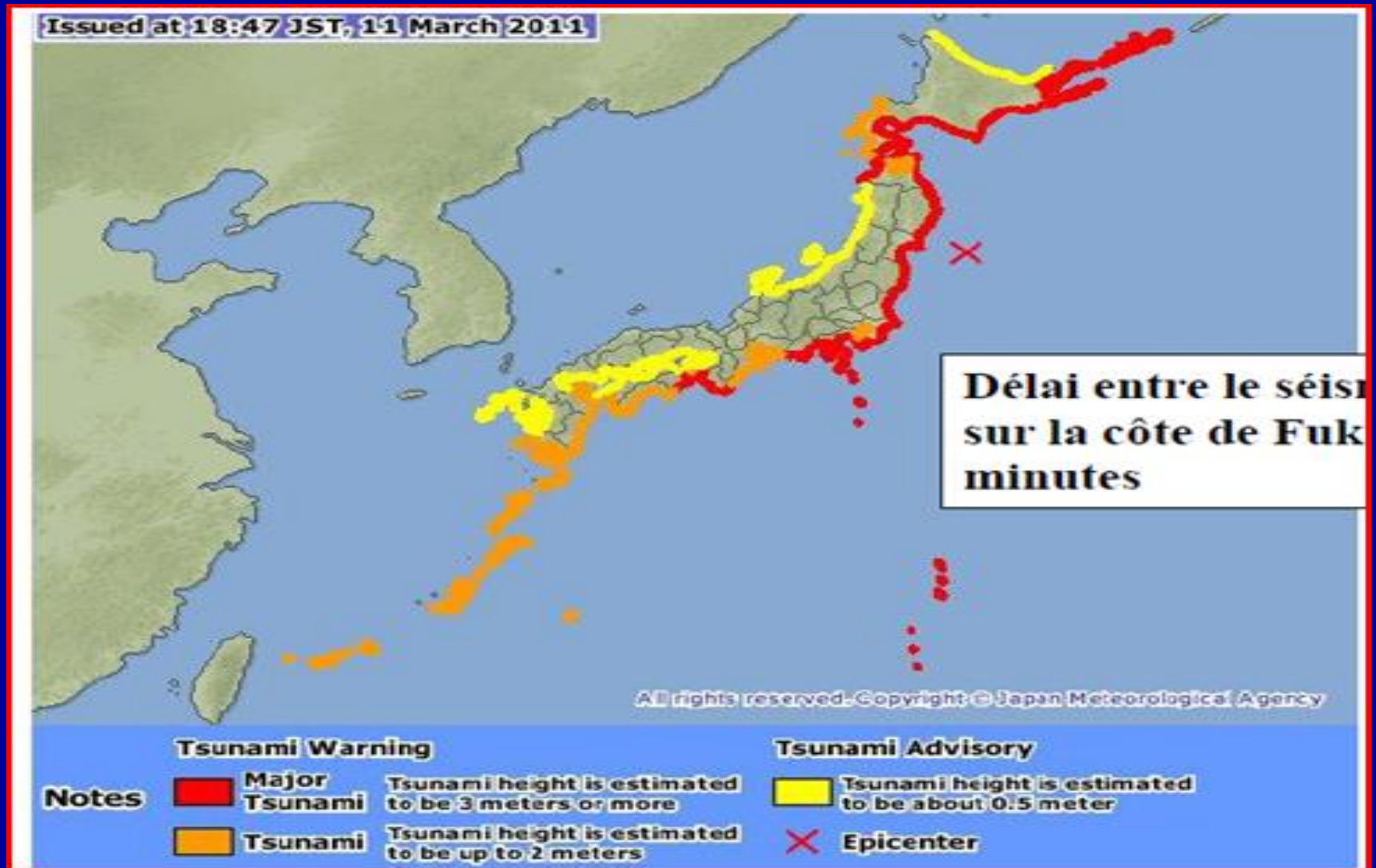


réacteur à eau bouillante





Séisme 14h46. Tsunami 15h42 à Fukushima. 56 mn





Centrale de Fukushima-Daiichi (Japon) le 11 mars 2011 © TEPCO

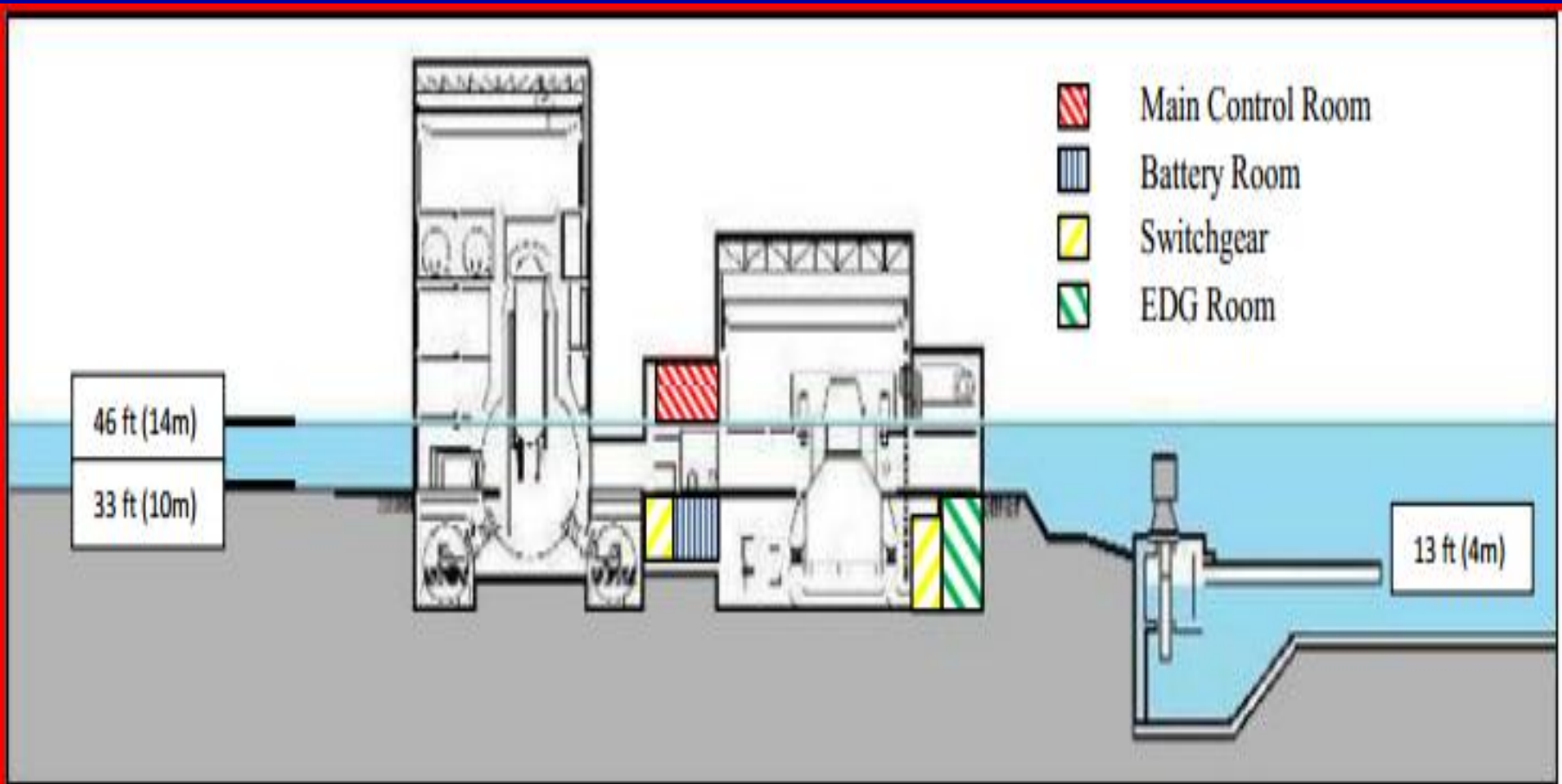


Figure 3.3-1 General Elevations and Inundation Level



Centrale de Fukushima Daiichi le 31 mars 2011







Réacteur n° 3 début octobre 2011
Jean Fluchère. Reims 21-03-2012 V2



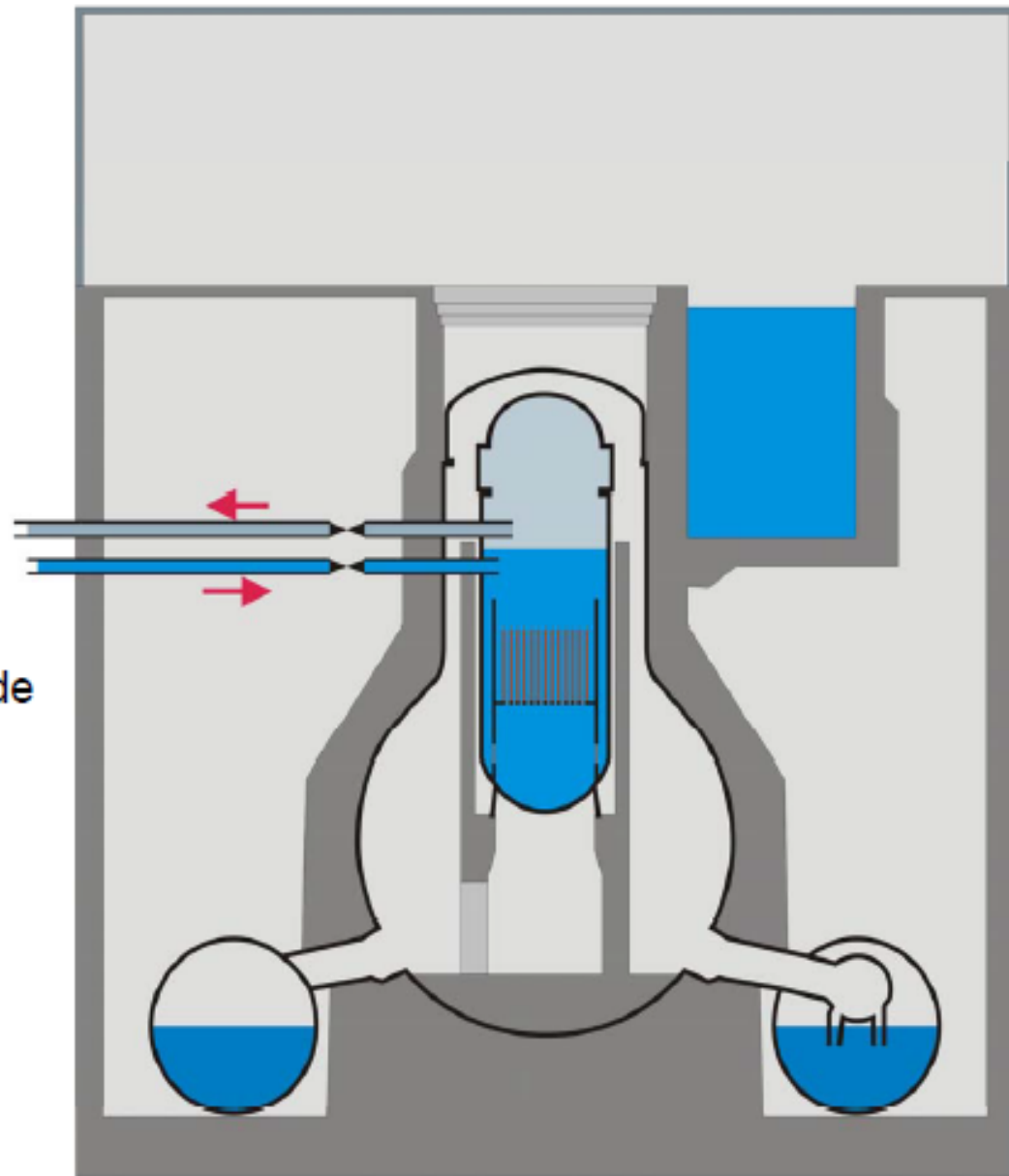
Réacteur N°4. Aperçu du couvercle du drywell

► 11.3.2011 14:46 - Séisme

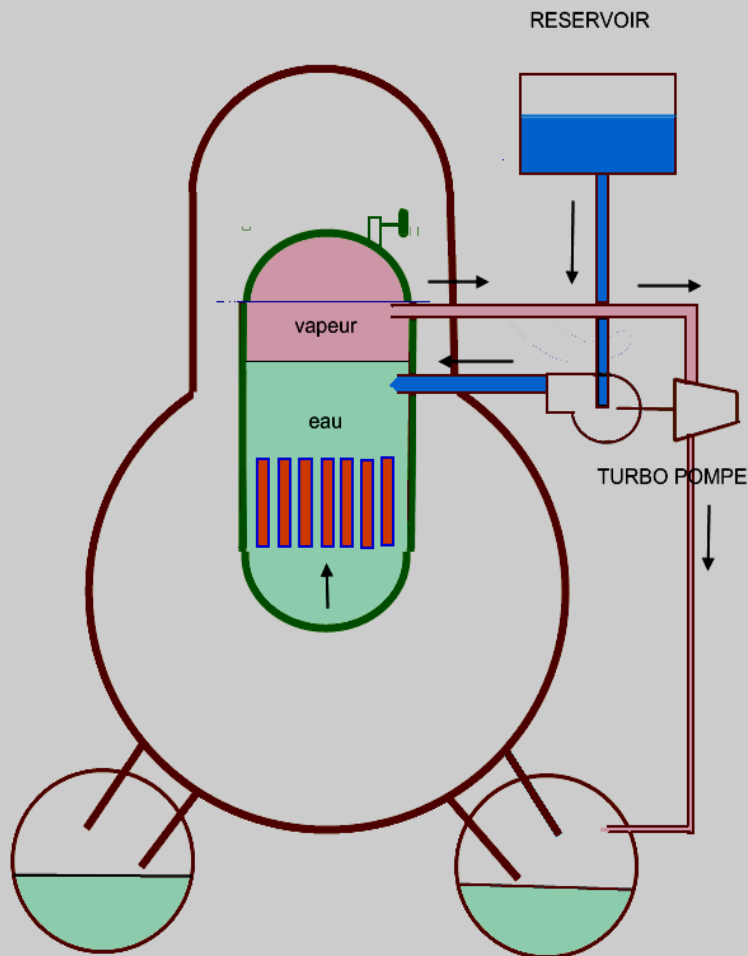
- ◆ Magnitude 9
- ◆ Ecrroulement du réseau de transport d'électricité du nord Japon
- ◆ Les réacteurs eux-mêmes sont globalement non endommagés

► Arrêt Automatique Réacteur

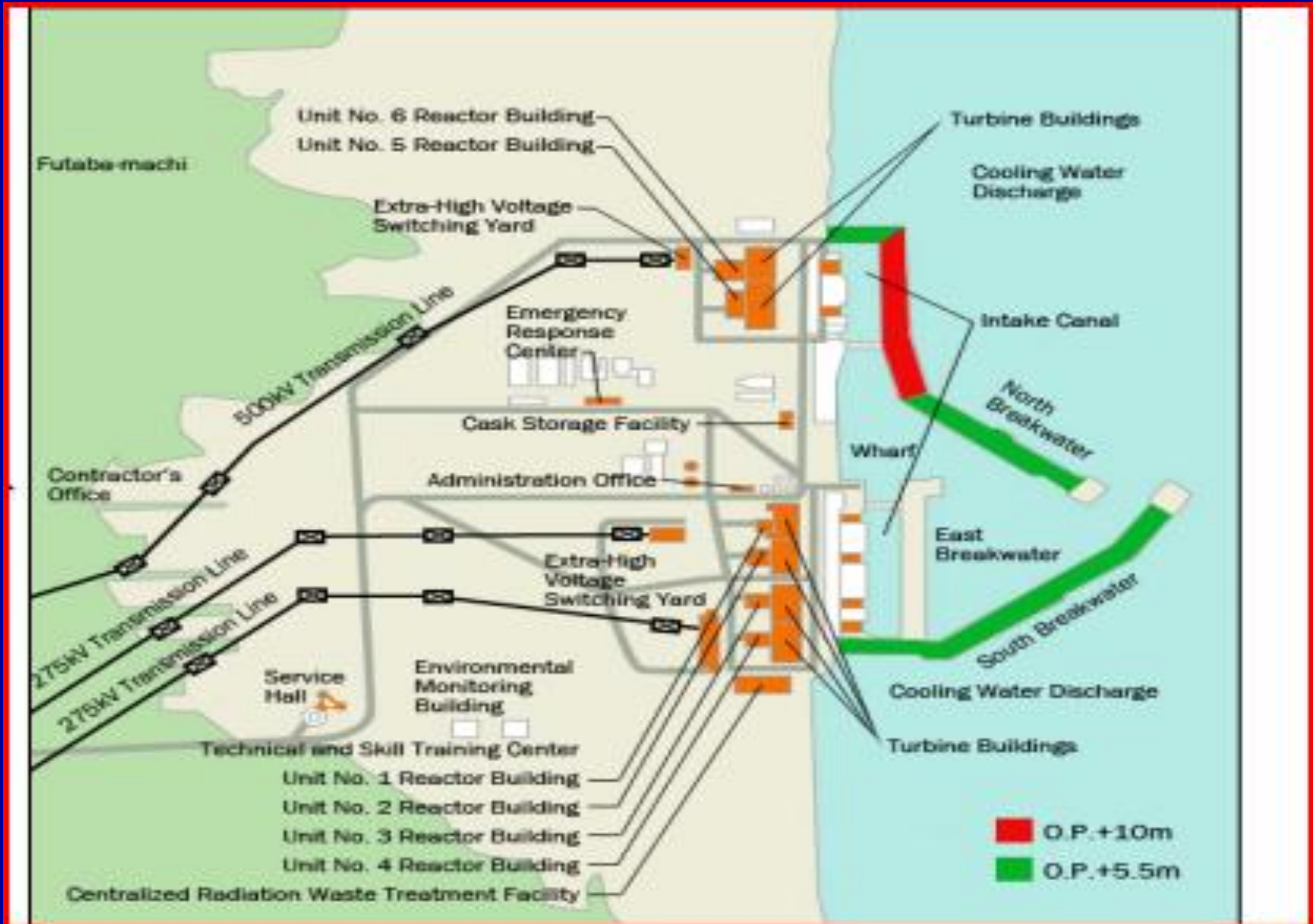
- ◆ La puissance issue de la fission de l'uranium cesse
- ◆ Production de chaleur due à la décroissance radioactive des produits de fission
 - After Scram ~6%
 - After 1 Day ~1%
 - After 5 Days ~0.5%



Fukushima : Fonctionnement après le séisme



- Pendant deux jours le réacteur peut évacuer la puissance résiduelle des combustibles sans électricité avec les turbo-pompes utilisant la vapeur du réacteur
- La pression dans le réacteur diminue
- Le niveau d'eau dans le réacteur est maintenu par l'apport d'eau du réservoir
- Cette phase a duré jusqu'au 13 mars à 12 h sur les réacteurs 1 et 3 et jusqu'au 14 mars 13h sur le réacteur 2.
- Arrêt par fermeture de la vanne vapeur.



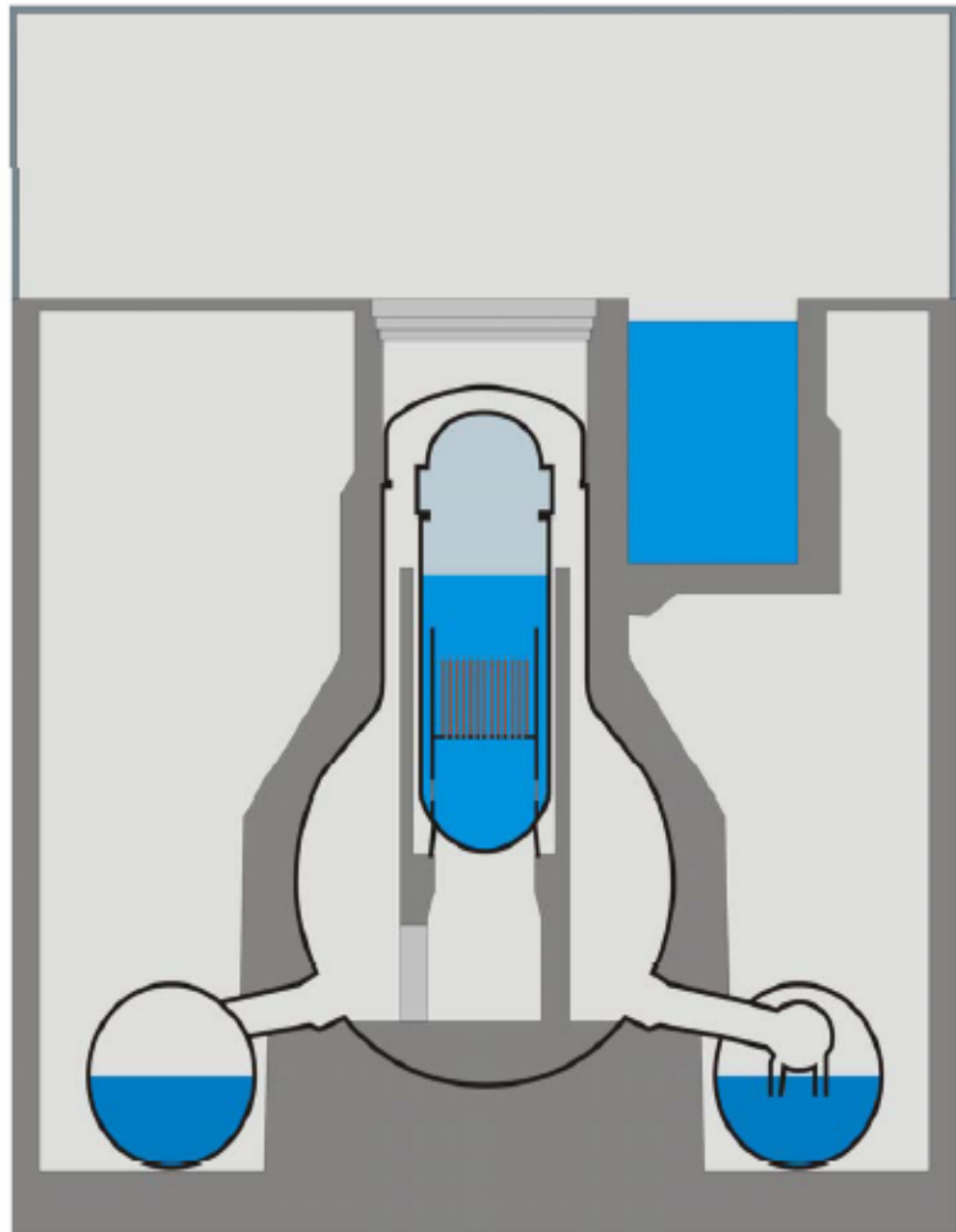
Alimentations électriques et hauteur des digues

11.3. 15:41 Le tsunami frappe la centrale

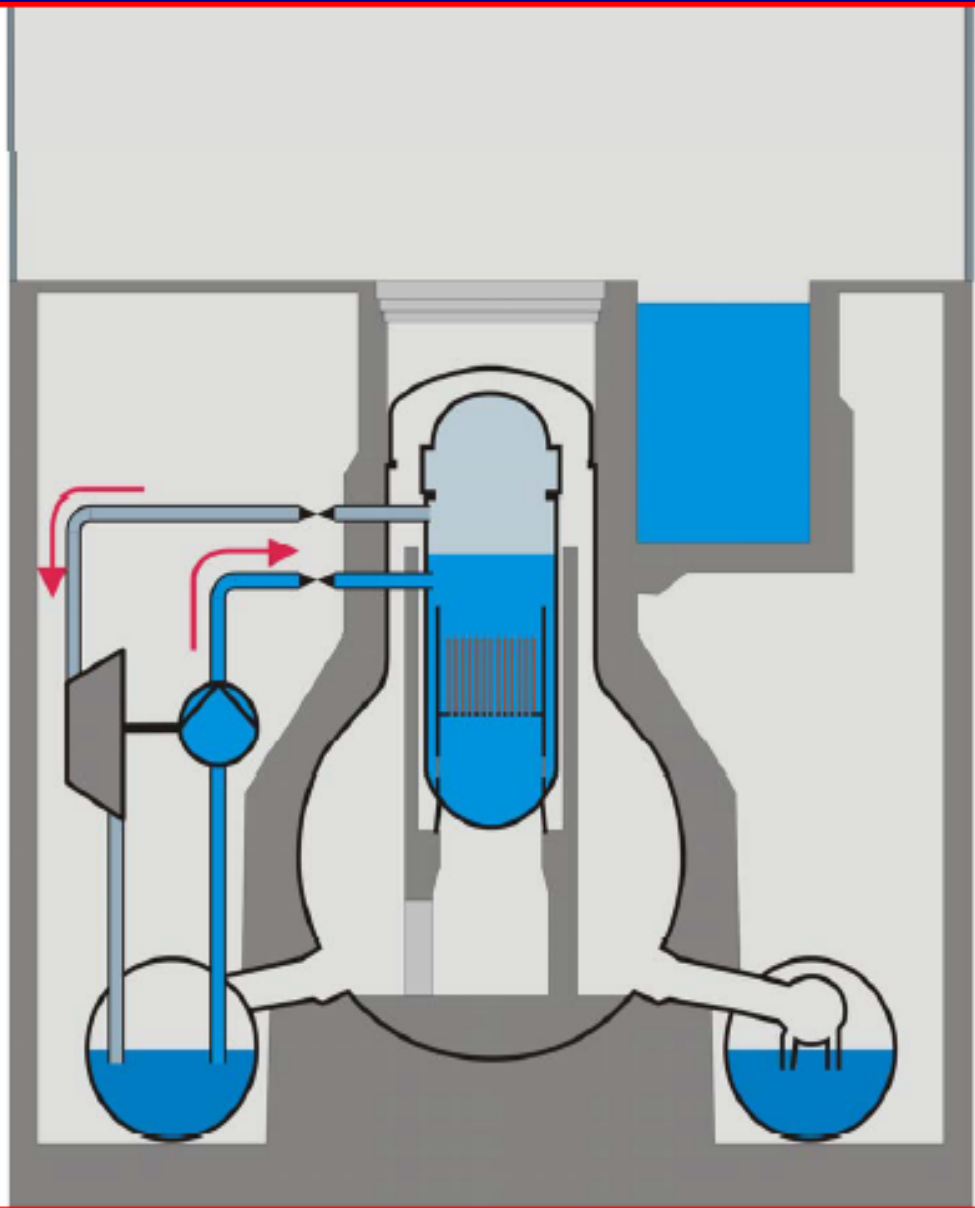
- ◆ Conception de la centrale pour une hauteur de tsunami de 6,5m
- ◆ Hauteur réelle du Tsunami >7m
- ◆ Inondation des
 - Groupes électrogènes diesel et/ou
 - Bâtiment essentiel d'eau de service pour le refroidissement des diesels

Perte totale des alimentations électriques

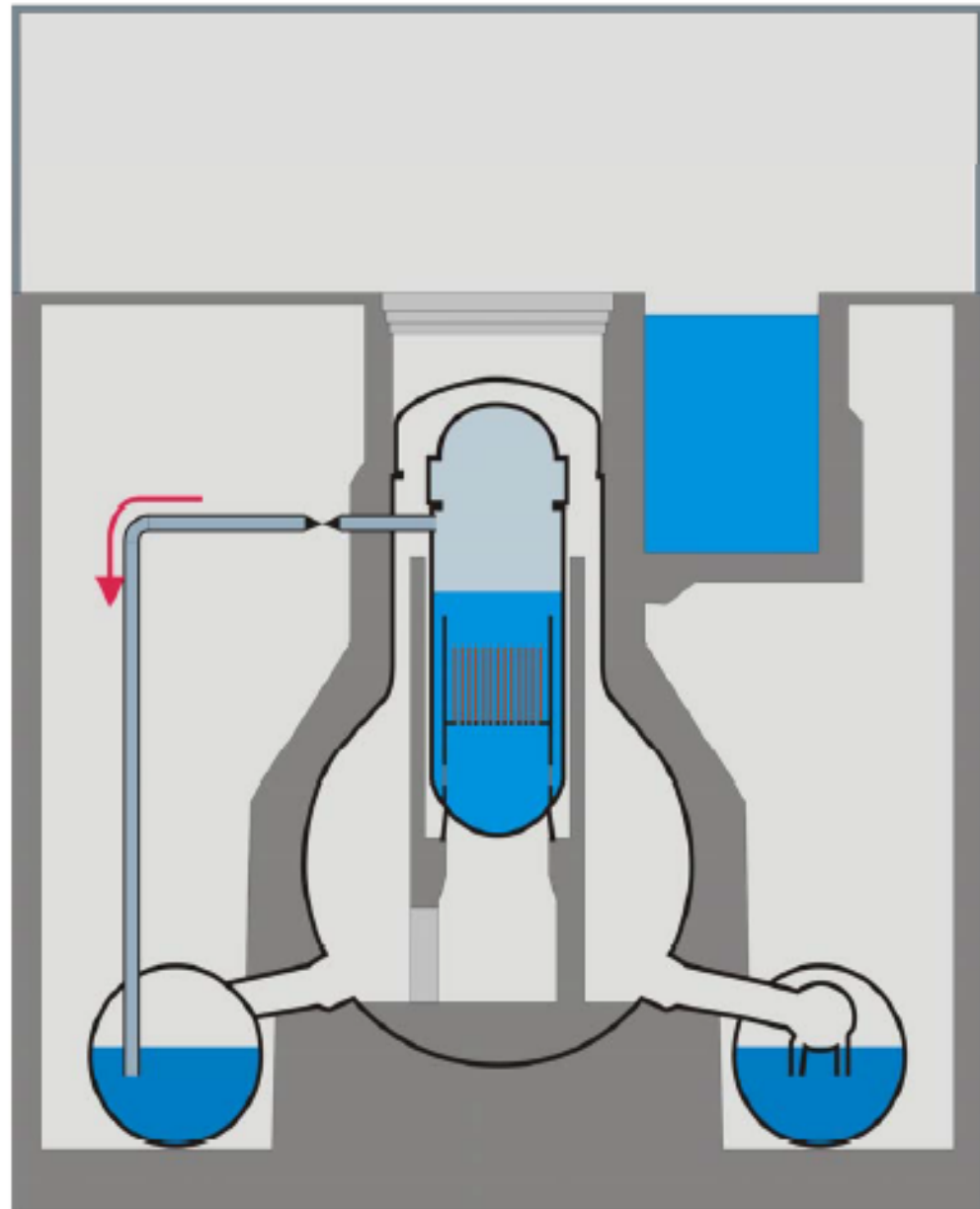
- ◆ Défaut de mode commun sur les sources électriques
- ◆ Ne restent que les batteries
- ◆ Défaillance de tous les systèmes de d'injection de sécurité sauf un



- ▶ La pompe de refroidissement en mode isolé reste disponible
 - ◆ La vapeur issue du réacteur entraîne une turbine
 - ◆ La vapeur est condensée dans le puits humide
 - ◆ La turbine entraîne une pompe
 - ◆ L'eau du puits humide est pompée vers le réacteur
 - ◆ Cela nécessite :
 - La disponibilité des batteries
 - La température dans le puits humide doit rester $< 100^{\circ}\text{C}$
- ▶ Comme il n'y a pas de retrait de chaleur dans le bâtiment, la pompe de refroidissement en mode isolé peut fonctionner indéfiniment.



- ▶ La pompe de refroidissement en mode isolé s'arrête
 - ◆ 11.3. 16:36 sur tranche 1 (Batteries vides)
 - ◆ 14.3. 13:25 sur tranche 2 (Défaillance de la pompe)
 - ◆ 13.3. 2:44 sur la tranche 3 (Batteries vides)
- ▶ La puissance résiduelle produit toujours de la vapeur dans la cuve
 - ◆ La pression augmente
- ▶ Ouverture des vannes de dépressurisation
 - ◆ Décharge vers le puits humide
- ▶ Baisse du niveau liquide dans la cuve



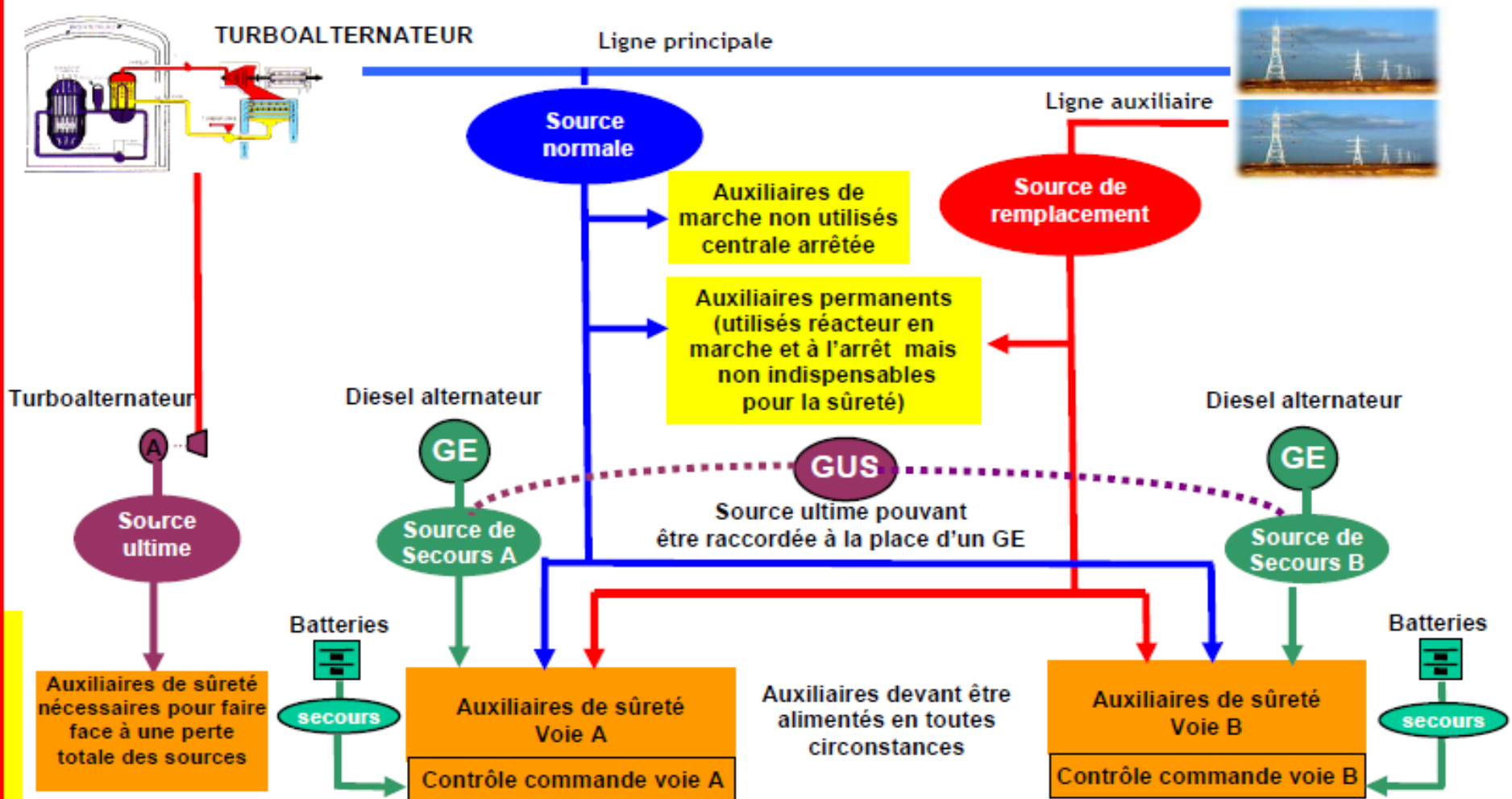
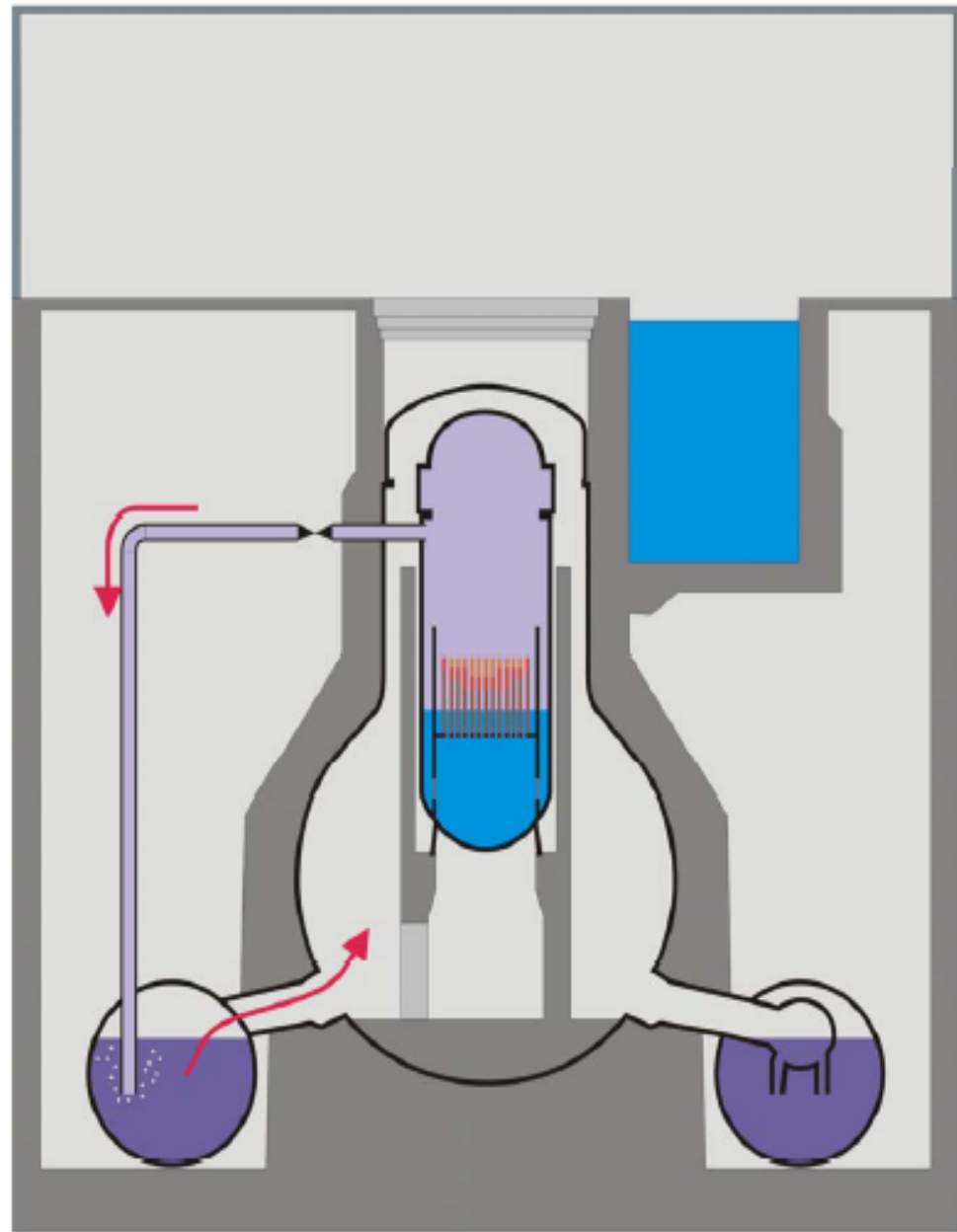


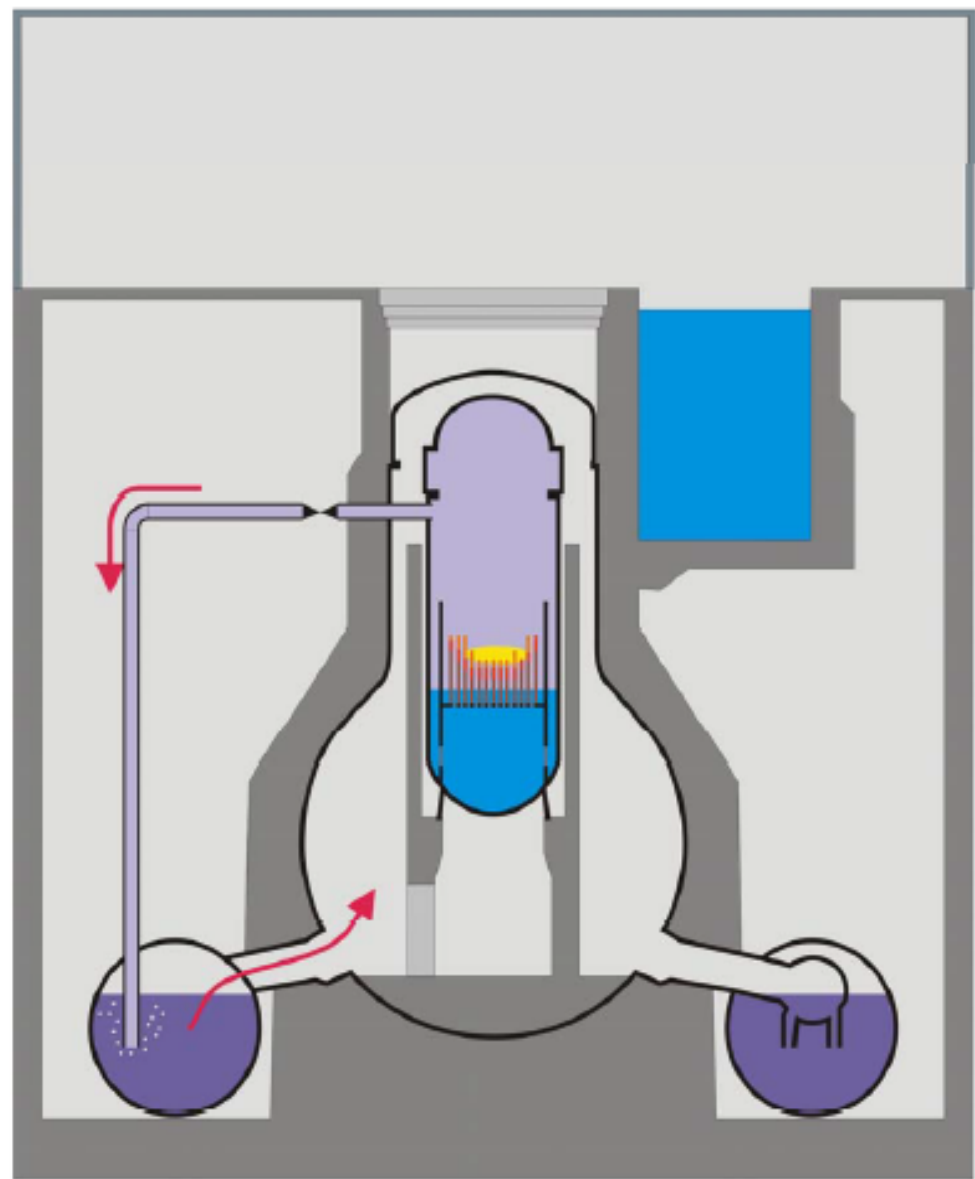
Figure 1 : Principe de l'alimentation électrique d'une centrale française de type REP

► ~3/4 du coeur découvert

- ◆ Les gaines dépassent ~1200°C
- ◆ Le zirconium des gaines commence à brûler en atmosphère vapeur
- ◆ $\text{Zr} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ZrO}_2 + 2\text{H}_2$
- ◆ La réaction exothermique chauffe encore plus le coeur
- ◆ Production d'hydrogène
 - Tranche 1: 300-600kg
 - Tranches 2/3: 300-1000kg
- ◆ L'hydrogène est poussé dans le puits humide, le puits humide se décharge dans le puits sec (soupape)



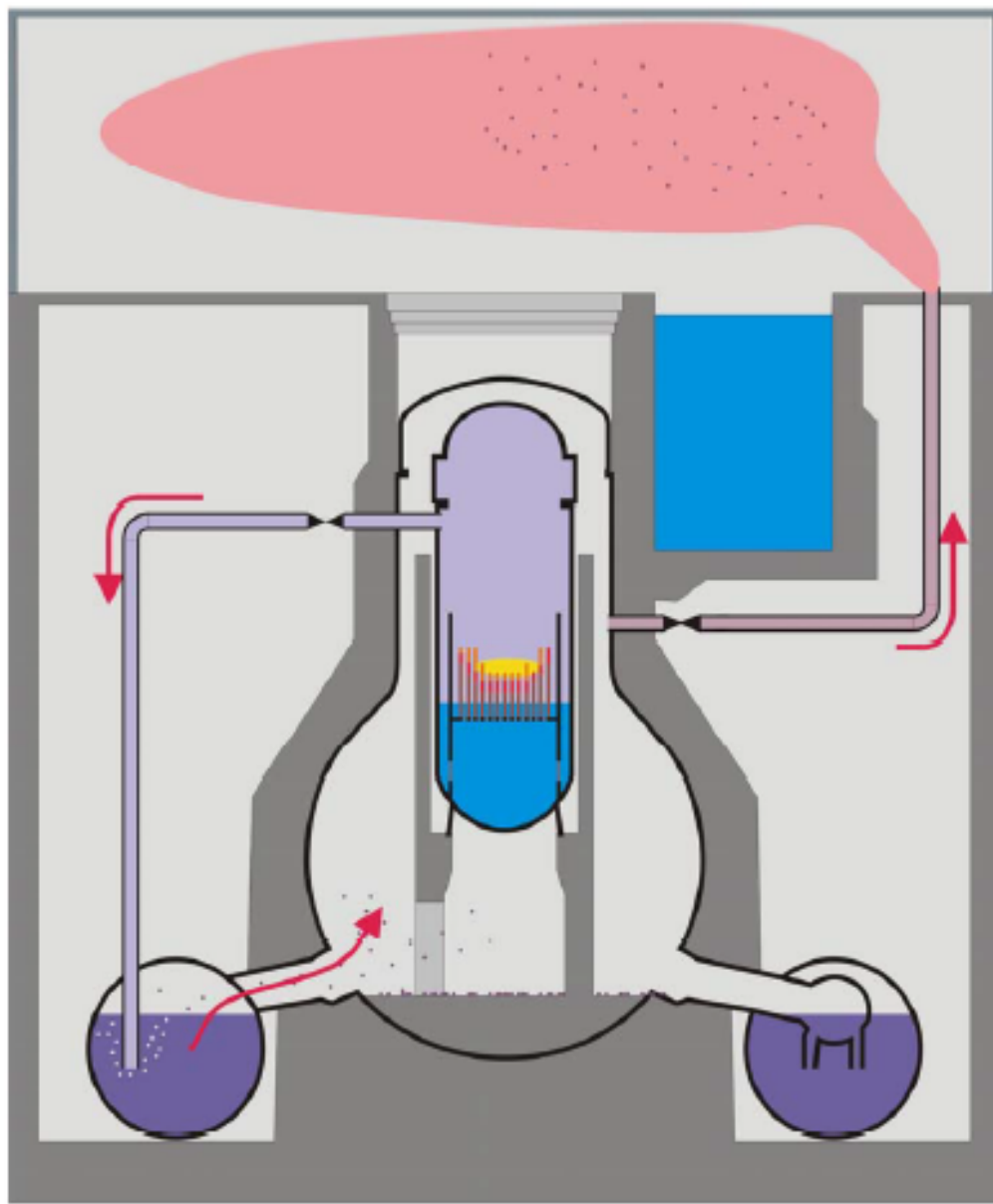
- ▶ A ~1800°C [Tranches 1,2,3]
 - ◆ Fusion des gaines
 - ◆ Fusion de la structure des éléments
- ▶ A ~2500°C [Tranches 1,2]
 - ◆ Rupture des crayons combustible
 - ◆ Couche de débris dans le coeur
- ▶ A ~2700°C [Tranche 1]
 - ◆ Fusion d'eutectiques Uranium-Zirconium
- ▶ La restauration de l'injection d'eau arrête l'accident sur les 3 tranches
 - ◆ TR 1: 12.3. 20:20 (27h sans eau)
 - ◆ TR 2: 14.3. 20:33 (7h sans eau)
 - ◆ TR 3: 13.3. 9:38 (7h sans eau)



Dénoyage du coeur

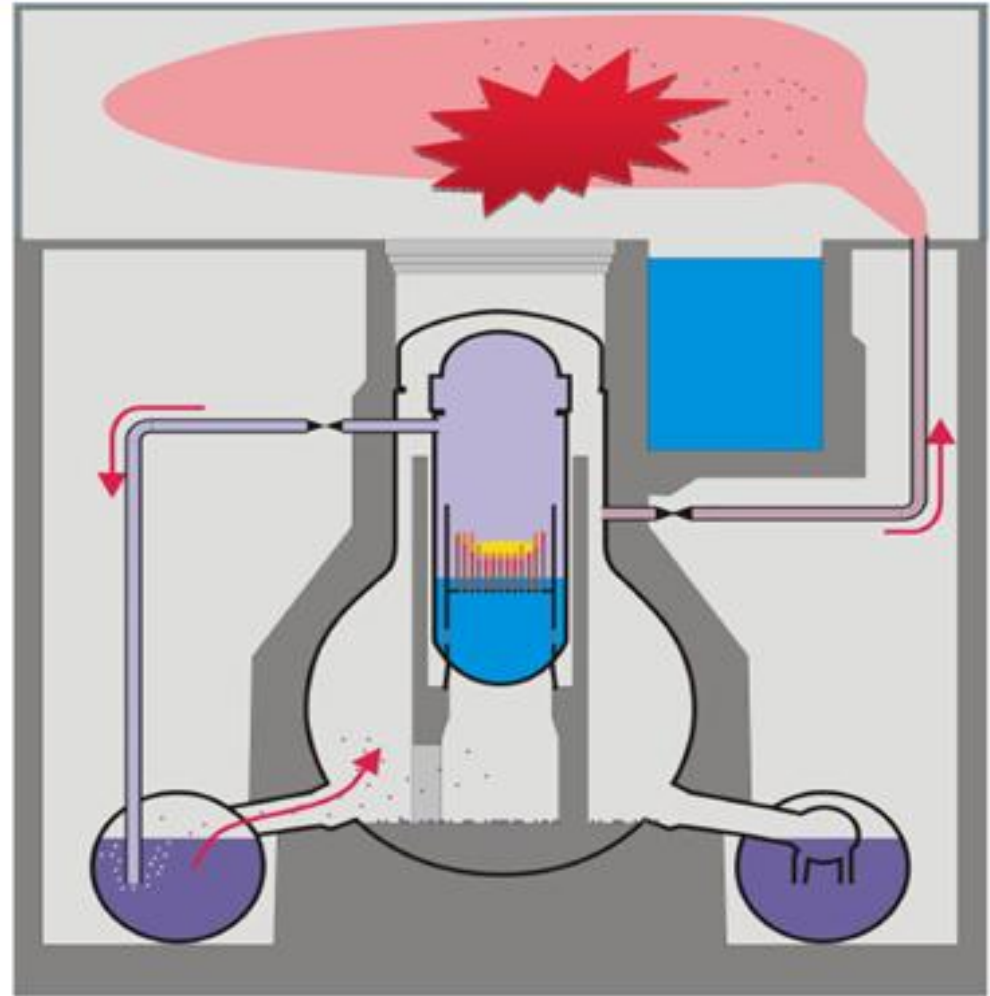
Avantages et inconvénients de la dépressurisation de l'enceinte

- ◆ Retire de l'énergie du bâtiment réacteur (seule solution restante)
 - ◆ Réduction de la pression à ~4 bar
 - ◆ Rejet de petites quantités d'aérosols (iode, césium ~0.1%)
 - ◆ Rejet de gaz rares
 - ◆ Rejet d'hydrogène
- Le mélange gazeux est rejeté vers le plancher de service du réacteur
- ◆ L'hydrogène est inflammable

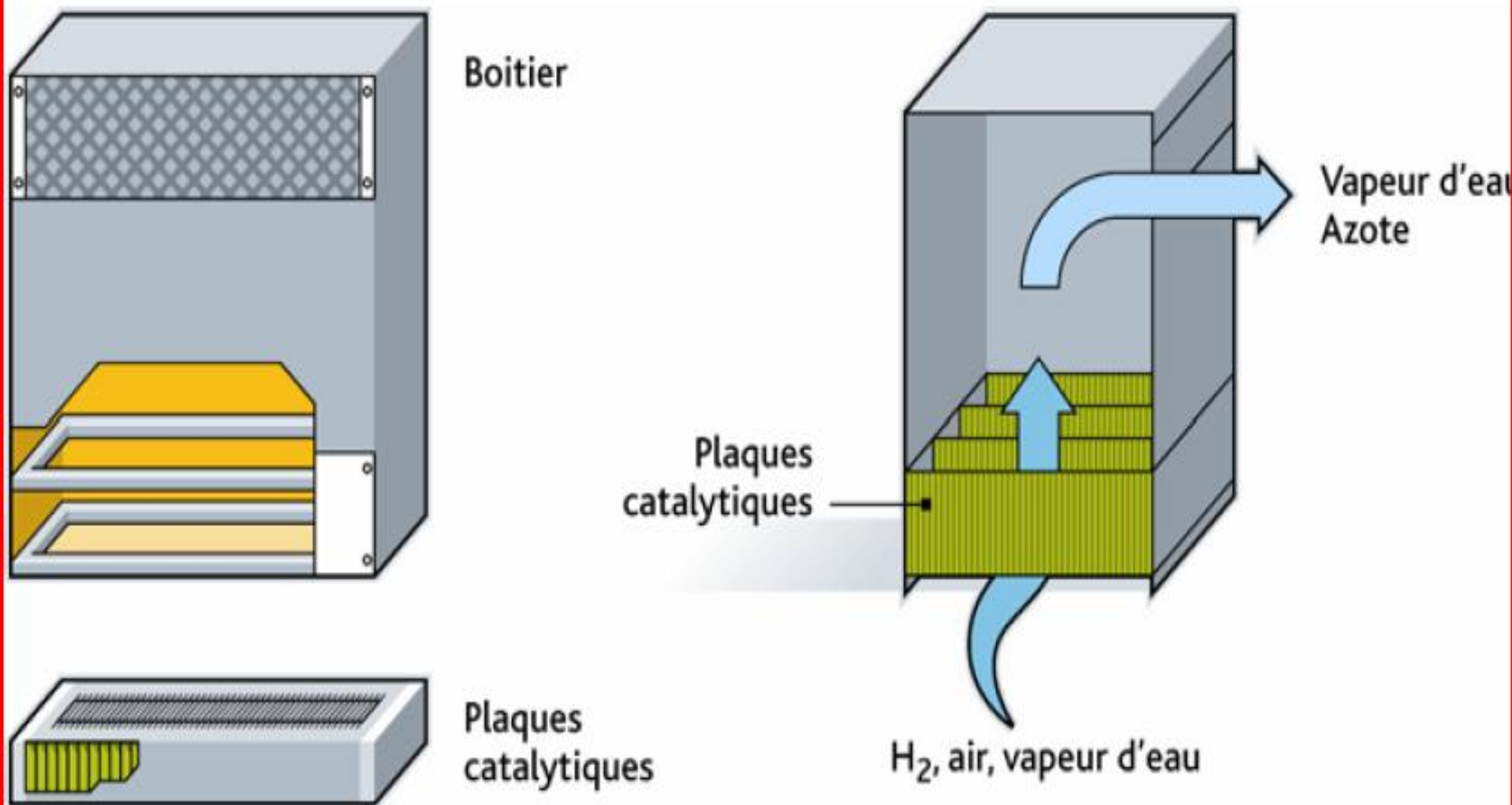


Dépressurisation enceinte de confinement

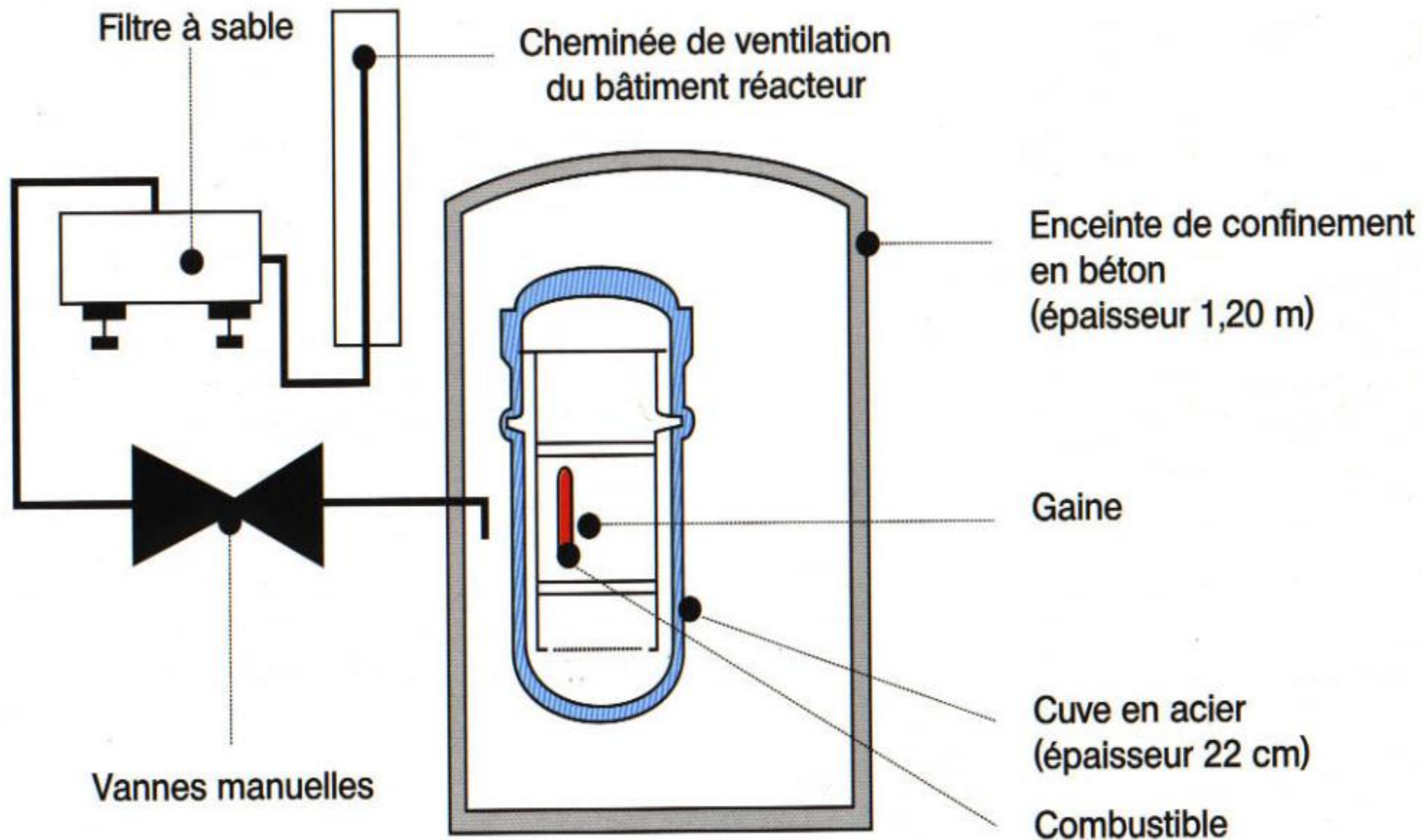
réacteur 3



Explosion d'hydrogène en partie supérieure du bâtiment réacteur



En France, mise en place de recombineurs passifs
d'hydrogène dans l'enceinte



En France, dispositif de filtration de l'événement de l'enceinte par filtre à sable



Filtre à sable à Saint Alban

Fukushima : mesures de protection

Daiichi

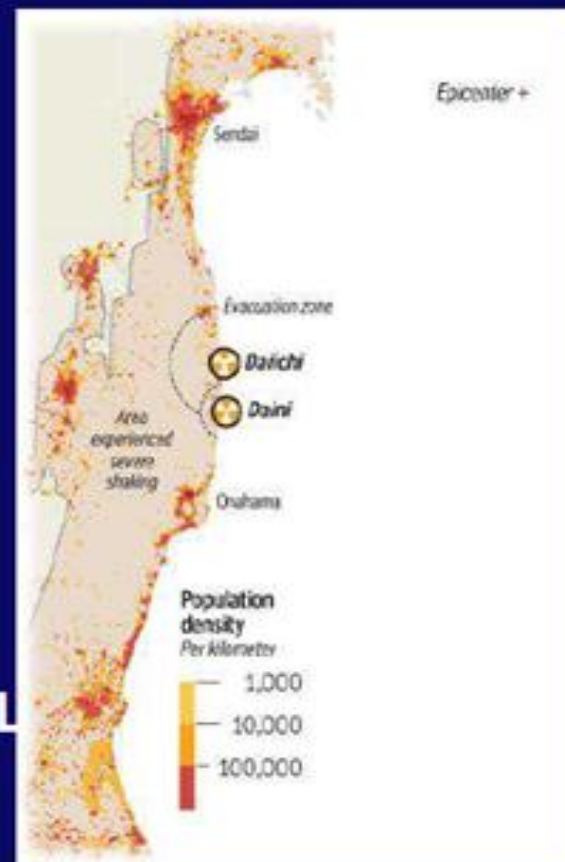
- évacuation sur 20 km
- 170 000 personnes
- mesures de confinement

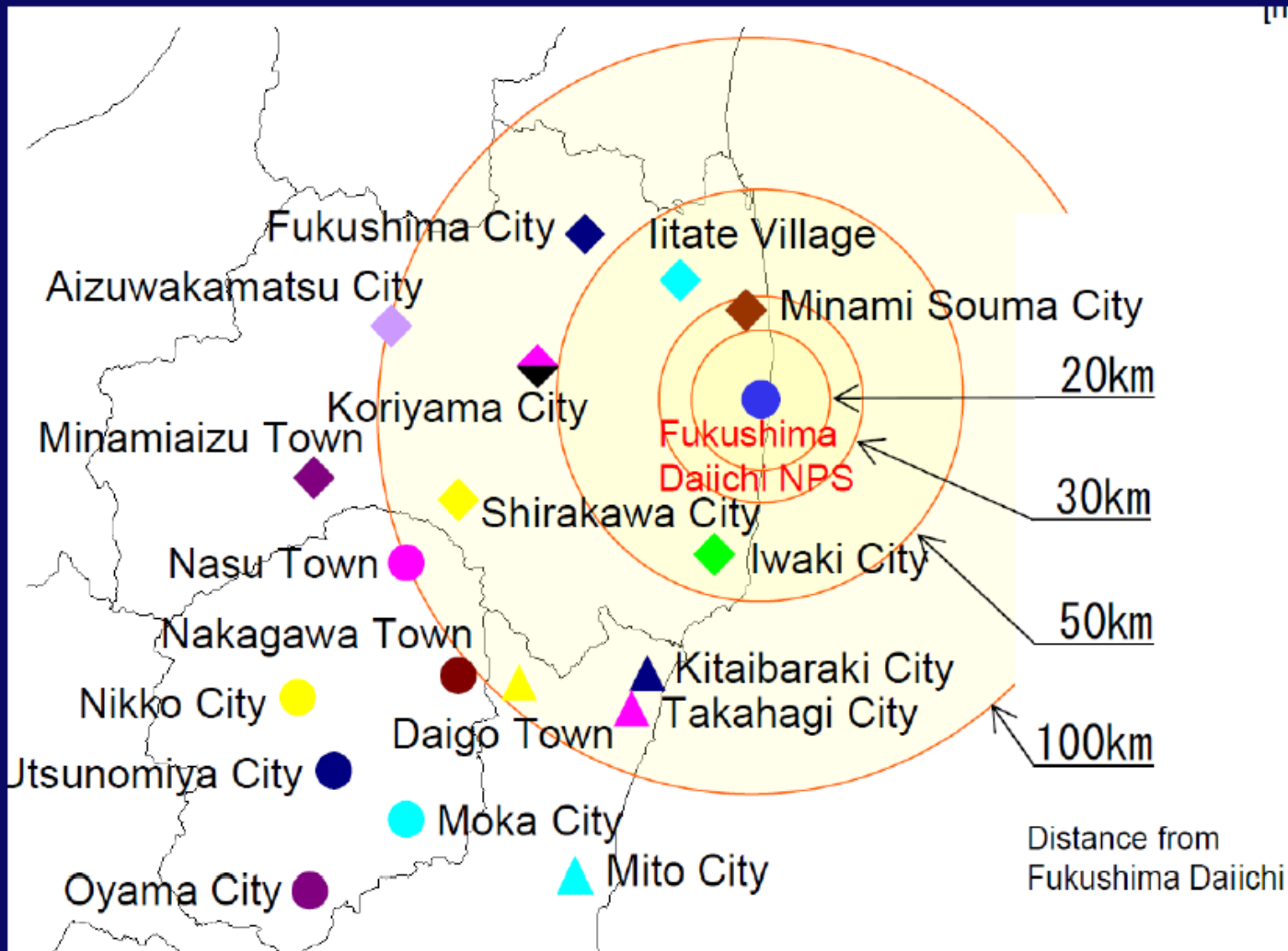
Daini

- évacuation sur 10 km
- 30 000 personnes
- mesures de confinement

restrictions alimentaires

- épinards, kanina, lait
- eau : Cs > 200 Bq/L ; I > 300 Bq/L
- eau enfant : I > 100 Bq/L





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

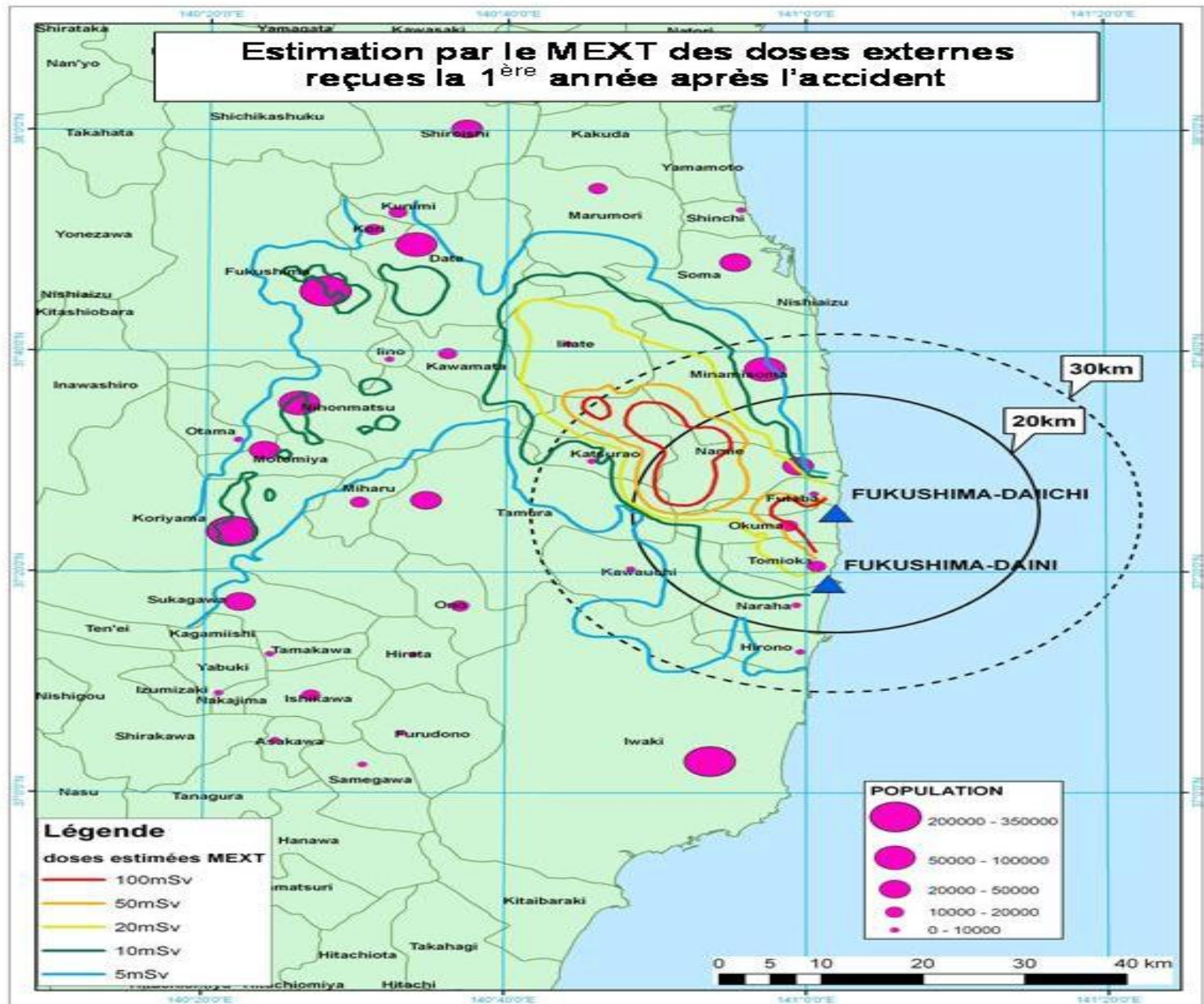
EVACUATION



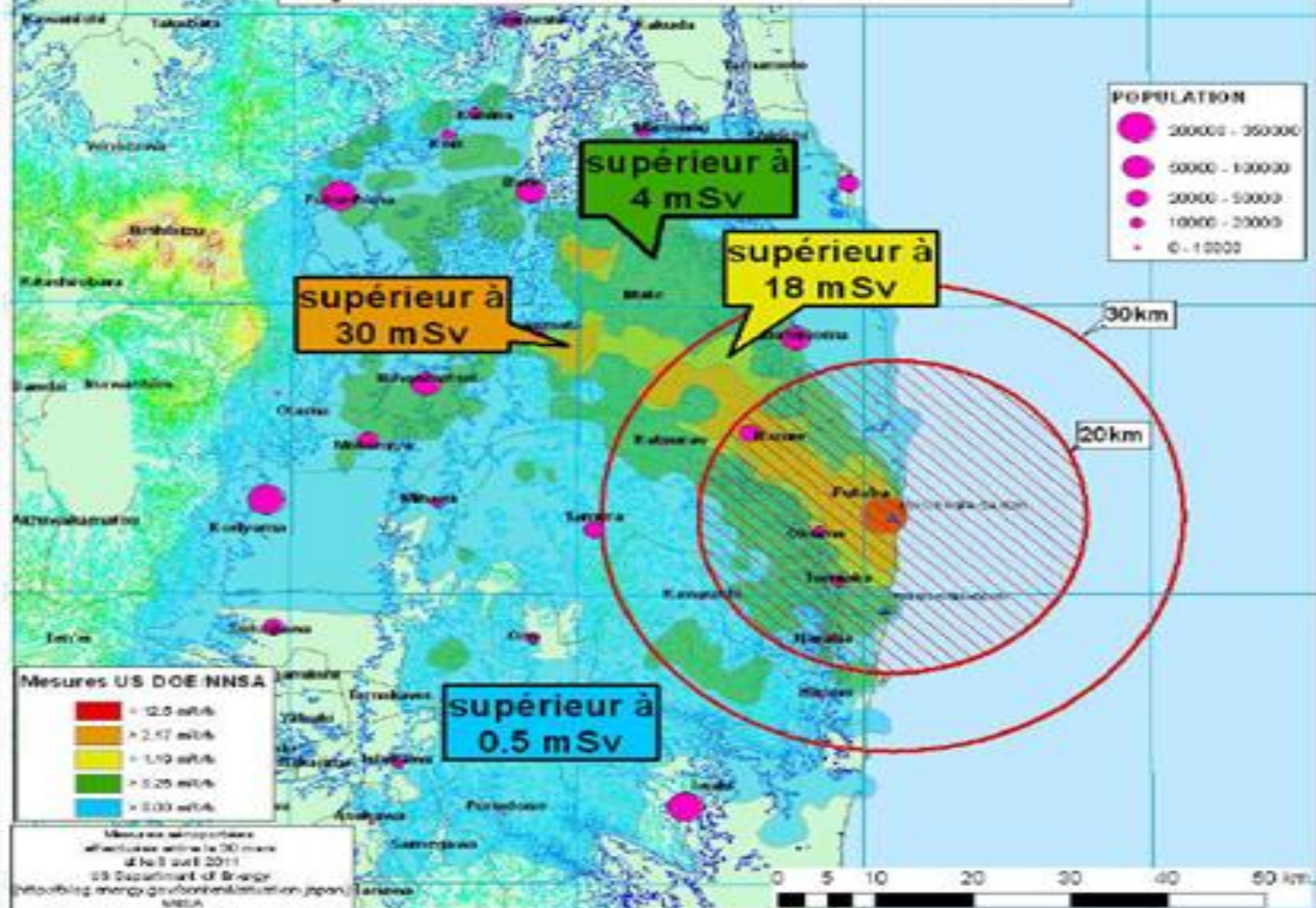
Protection de l'organisme
si dose prévisible
CORPS ENTIER 50 mSv

Règles de protection des populations

Estimation par le MEXT des doses externes reçues la 1^{ère} année après l'accident



Estimation des doses reçues par irradiation externe la première année à partir des mesures US DOE/NNSA



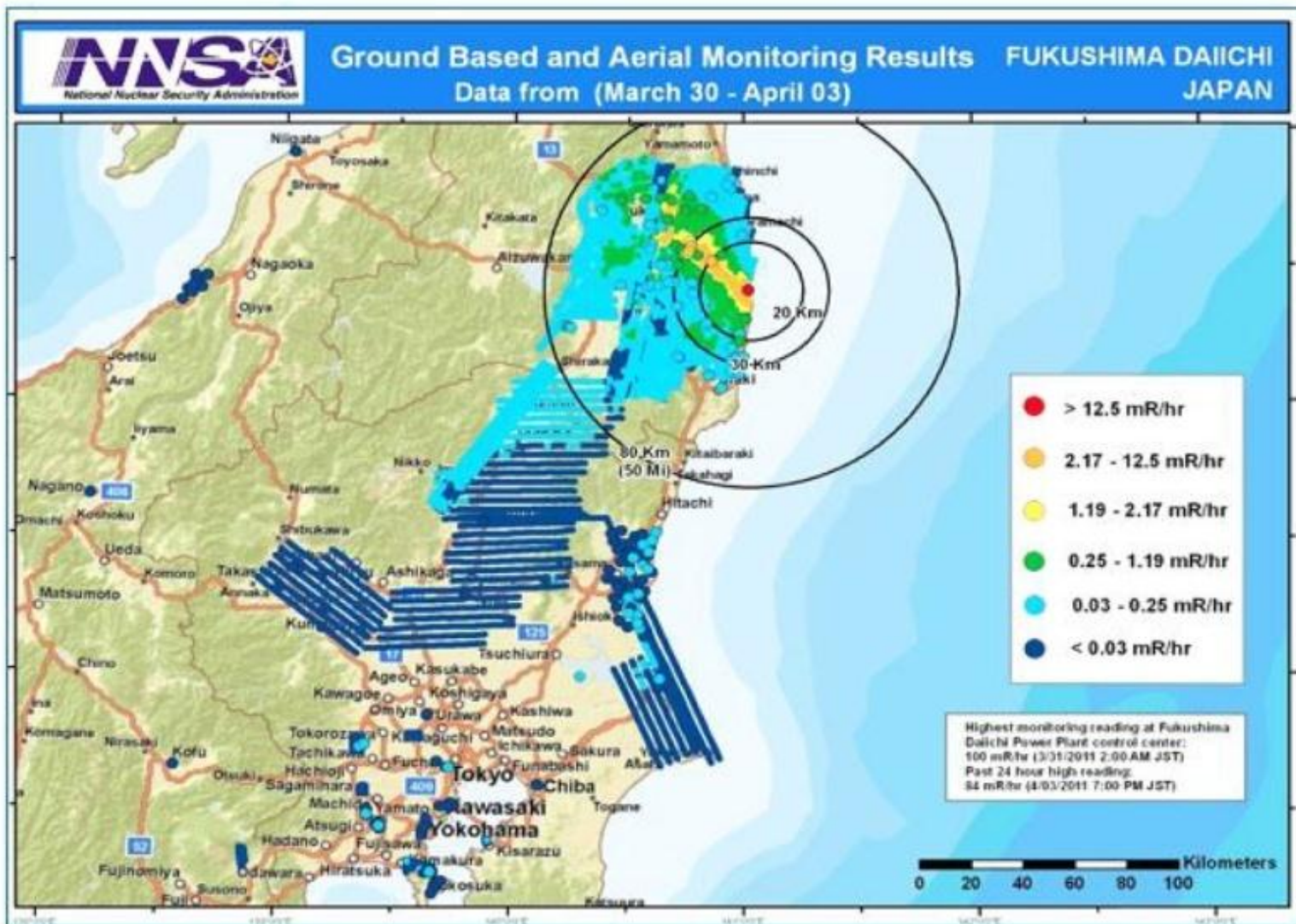


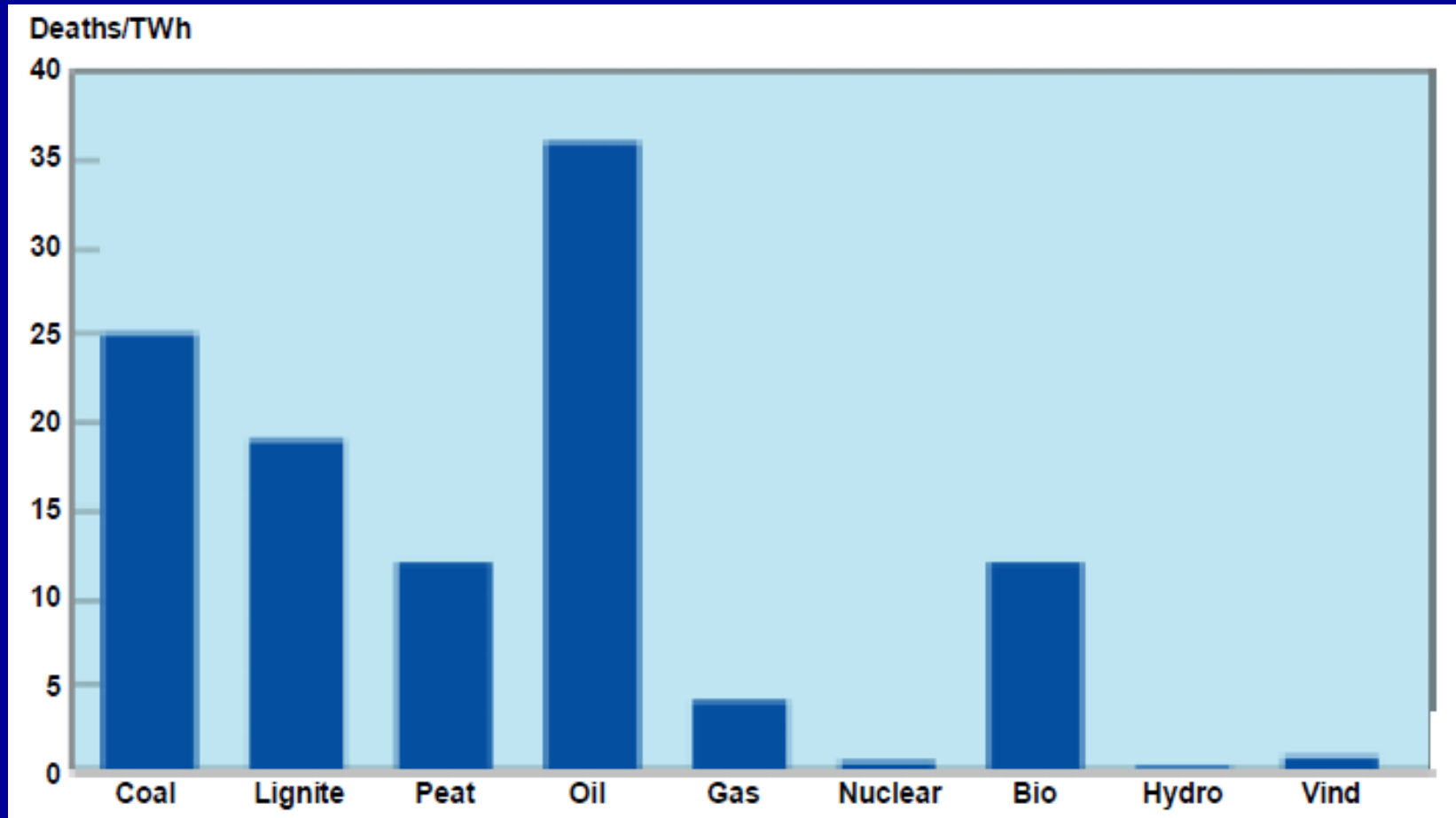
Figure 1 : Mesures aéroportées des débits de doses en mRoentgen/hr réalisées par le DoE/NNSA entre le 30 mars et le 3 avril 2011 (carte publiée sur le site internet du DoE le 7 avril 2011)

CIPR 103 et 109

20 - 100 mSv

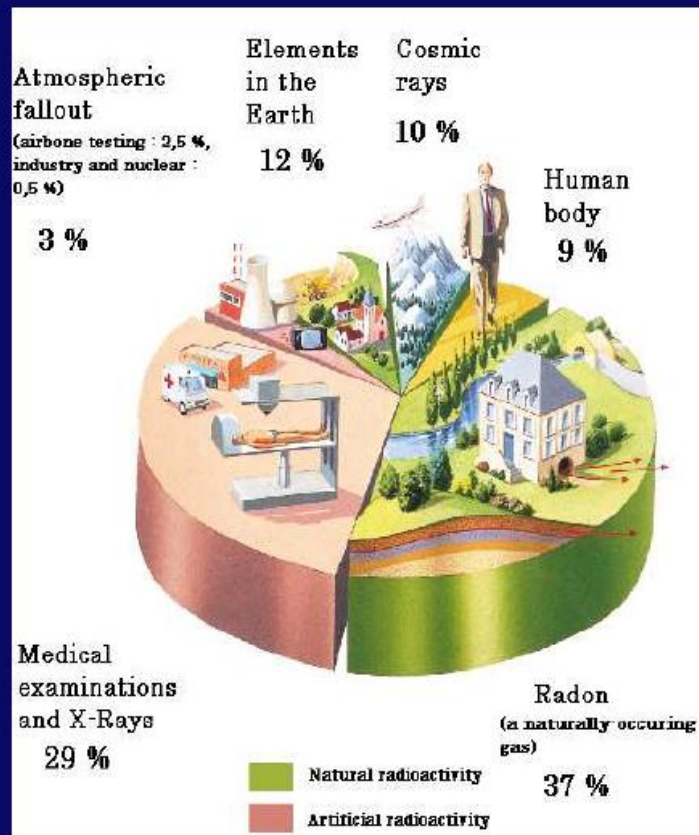
Dose externe 1 ^{ère} année	> 5 mSv	> 10 mSv	> 16 mSv	> 50 mSv	100 - 500 mSv
Population hors zone d'exclusion	292 000	69 400			
		43 000	26 400		
			21 100	3 100	2 200

Toute utilisation de l'énergie a un coût sanitaire. Le coût des combustibles conventionnels est très élevé



Irradiation

naturelle renforcée médicale retombées



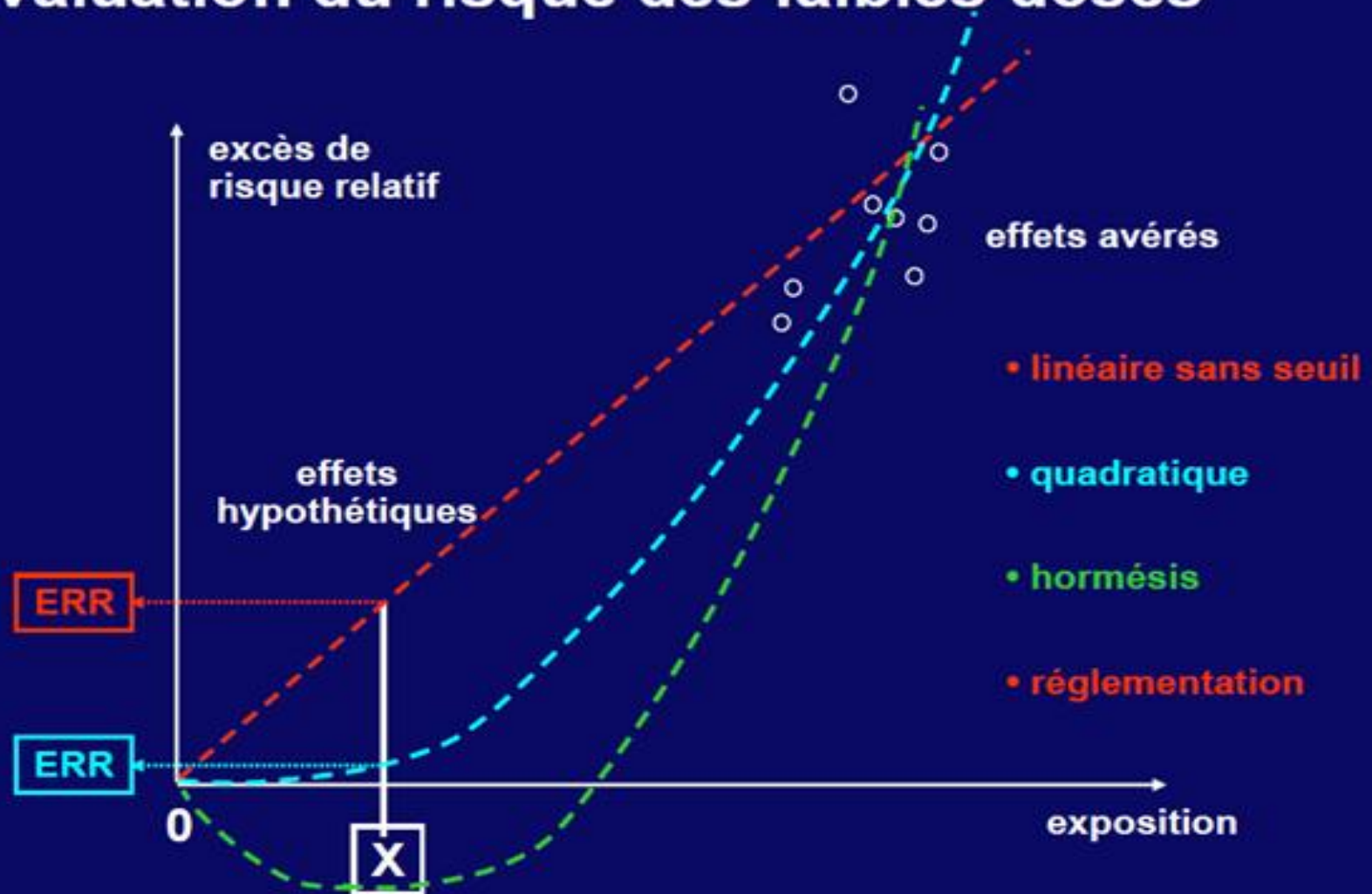
corps humain 30 %
tellurique 12 %
r. cosmiques 10 %

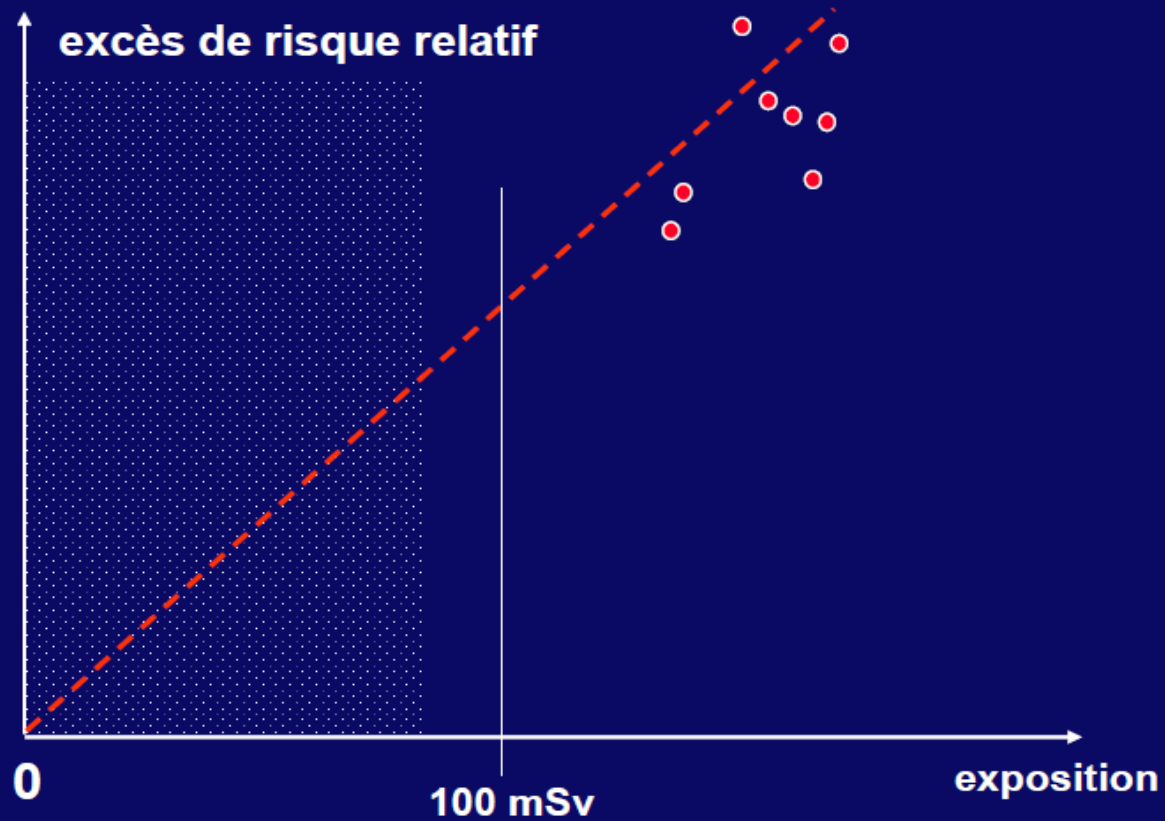
radon 37 %

médical 29 %

essais nucléaires 2,5 %
industrie 0,5 %

évaluation du risque des faibles doses





élimination

réparation

prolifération

la règle de trois m'a tuer !

Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries

Amy Berrington de González, Sarah Darby

Lancet 2004

les radiographies seraient responsables chaque année

- de 700 cancers au Royaume Uni
- de 6000 cancers aux USA
- de 7600 cancers au Japon !

**faible dose X effectif considérable X ERR forte dose = ?
= n'importe quoi**

Les conséquences de l'application de la RLSS au dessous de la zone déterministe

effets psycho-sociaux : Fukushima

- **contexte dramatique**
- **séisme & tsunami : 25 000 morts**
- **zones dévastées, habitations détruites**
- **70 000 évacués du fait de l'accident nucléaire**
- **communication très médiocre**

**seuil d'évacuation CIPR
20 mSv / an**

Conclusions de l'IRSN au 28-02-2012

Conclusion

- Des moyens considérables sont déployés
- Les doses reçues seraient inférieures à 100 mSv : il n'est pas sûr qu'un excès de risque puisse être décelé par les études épidémiologiques
- Ces études épidémiologiques sont néanmoins indispensables pour rassurer la population et acquérir de nouvelles connaissances sur les effets des faibles doses de radioactivité
- Déficit de mesures chez les personnes exposées, notamment les enfants exposés aux iodes radioactifs : les quelques observations disponibles seront confrontées aux résultats du suivi sanitaire
- Déficit de connaissances sur les doses reçues et les effets sur les travailleurs (« filtre TEPCO »)

conclusion Fukushima

une catastrophe naturelle

une catastrophe industrielle

25 000 morts du séisme et du raz-de-marée

0 morts de l'accident nucléaire ?

gestion de l'après-crise

- évacuations a bon escient
- surveillance environnement - alimentation
- accompagnement psycho-social
- décontamination et réhabilitation des sols

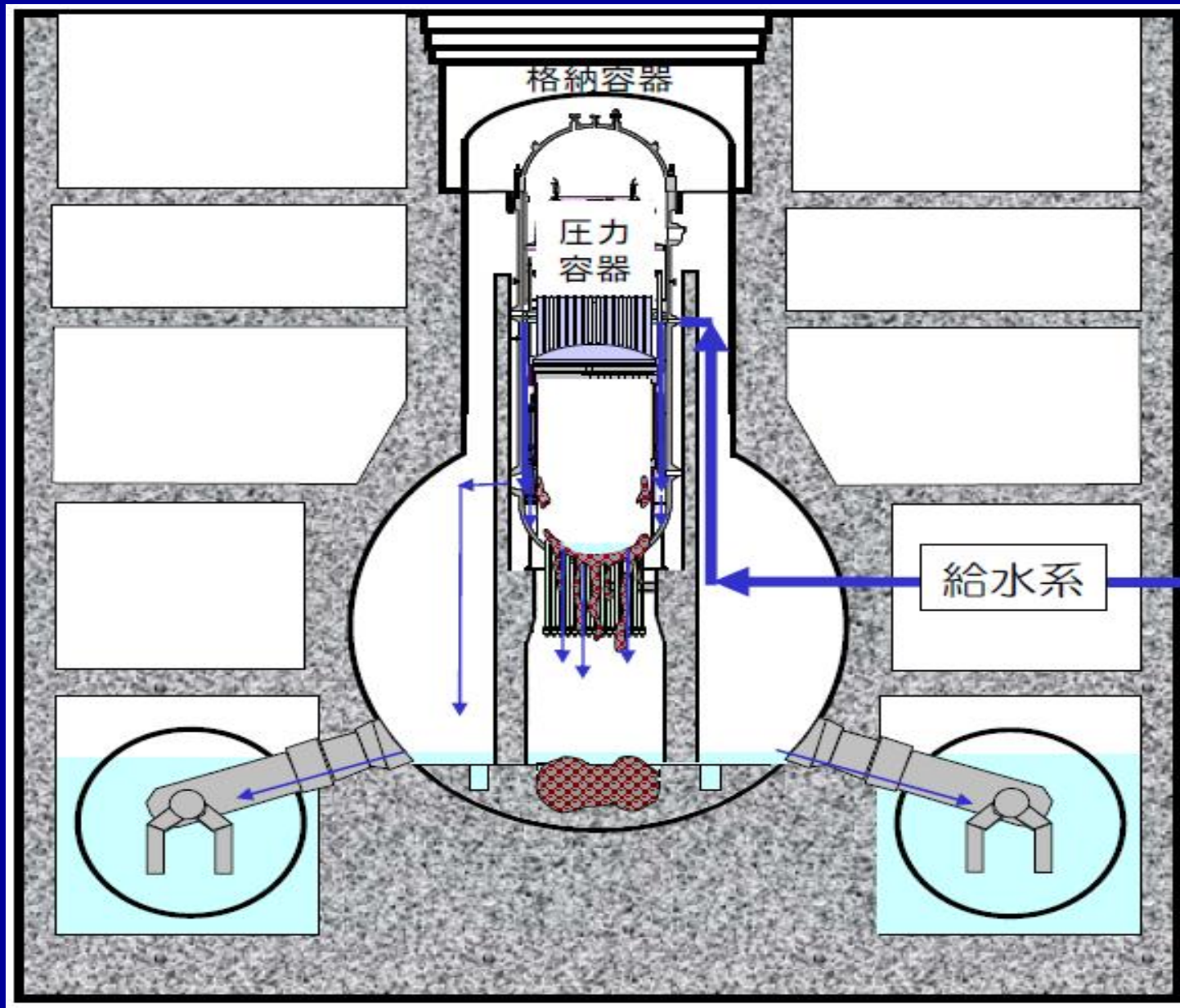
retour d'expérience mondial

- séismes
- perte des circuits de refroidissement

- Les pompes du circuit de refroidissement à l'arrêt sont mises en route

- Les soupapes de sécurité sont fermées permettant de rendre étanche la cuve du réacteur

- Les vannes d'éventage du tore de condensation sont fermées pour rendre étanche l'enceinte



Situation post accidentelle stable du corium froid atteinte en décembre 2011

- 169 travailleurs ont reçu une dose supérieure à cent millisieverts.
- Entre 100 et 150mSv: 139 travailleurs.
- Entre 150 et 200mSv: 21 travailleurs.
- Entre 200 et 250mSv: 3 travailleurs.
- Au delà de 250mSv: 6 travailleurs dont les doses vont de 309 à 678mSv.
- Ces 9 travailleurs au delà de 250 mSv ont tous reçu cette dose avant juin dernier 2011.



Reconstruction de la partie supérieure du bâtiment réacteur



Et maintenant?

➤ Extérieur site.

- Décontamination des cesiums recouvrant les sols.
- Retour des populations volontaires dans les zones à taux d'irradiation inférieur à 10 mSv par an.

➤ Intérieur site.

- Poursuite des opérations de la roadmap Tepco.
- Déchargement de la piscine n°4, mise en ordre, décontamination et opérations à long terme d'extraction du corium.

***En ces temps d'imposture universelle, dire la vérité est
un acte révolutionnaire.***

George Orwell

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

