

Accident de Fukushima



Le tsunami du 11 mars 2011

Pour en savoir plus:

<http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/Fukushima.htm>

Plan

- La centrale de Fukushima-Daiichi
- Une cascade d'accidents
- Accidents de refroidissement ...
- Piscines d'entreposages
- Eaux radioactives
- Contaminations radioactives
- Conséquences sanitaires
- Quelles leçons et quels remèdes ?

La centrale de Fukushima-Daiichi

NB : Daiichi veut dire (N°1)

La centrale de Fukushima Daiichi (N°1)

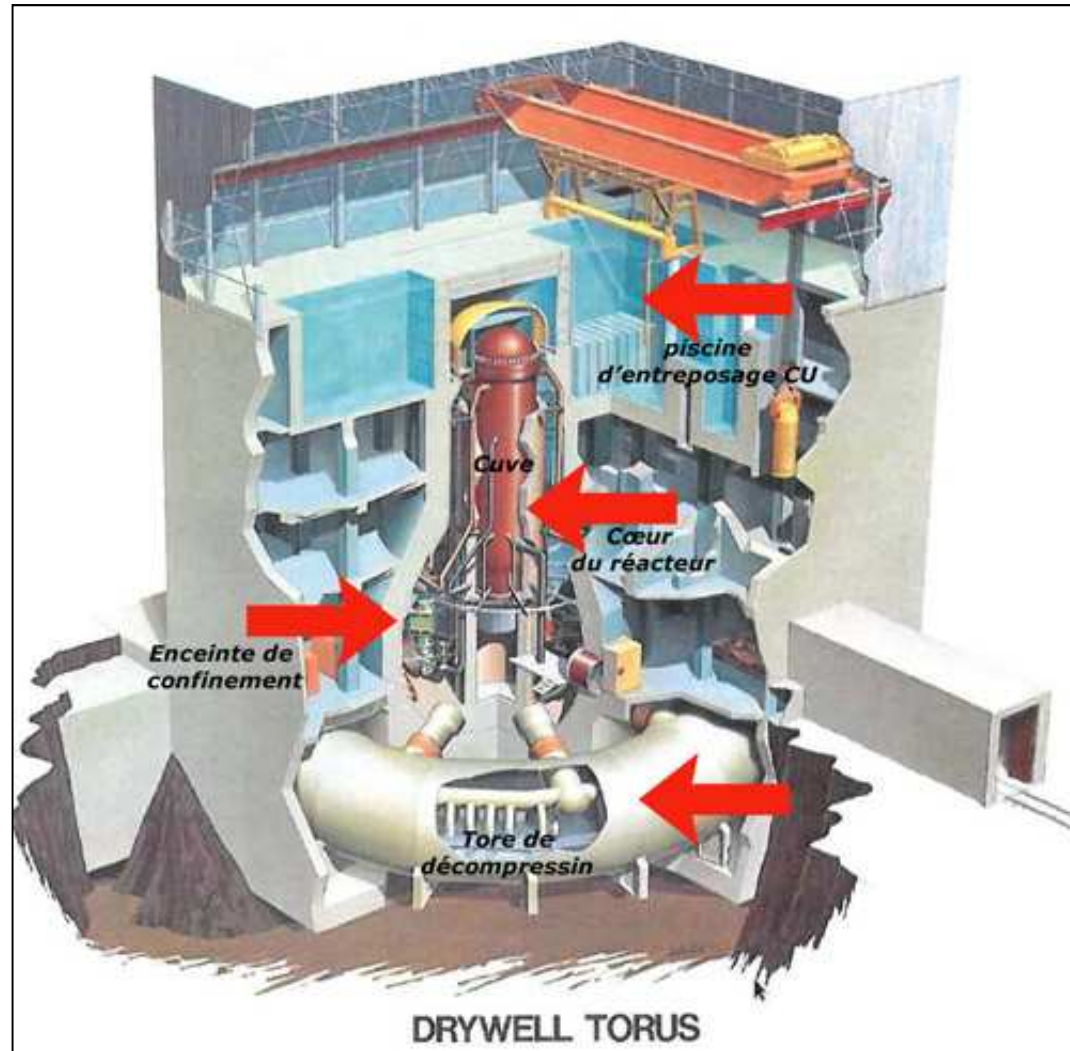


Unités 1, 2, 3 en fonctionnement, 4,5,6 en arrêt technique

Réacteurs à eau bouillante BWR

6 réacteurs
Mise en service (1970-1979)
(General Electric, Toshiba, et
Hitachi)

Puissance installée
4 696 Mwe.



Enceinte de confinement

5 barrières de confinement

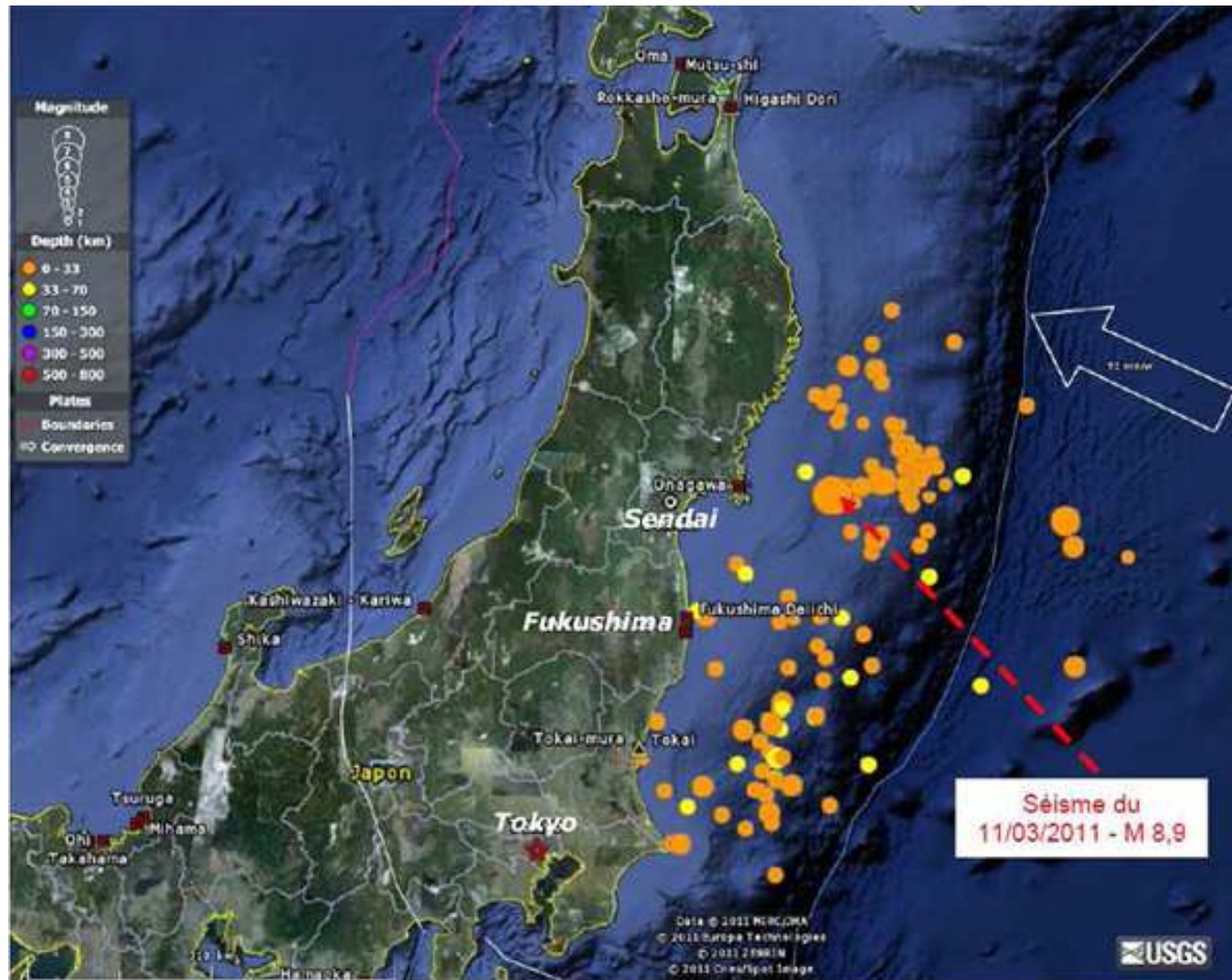
- 1) La **céramique** des pastilles de combustible : résiste aux hautes températures et à la corrosion ;
- 2) Les **gaines de zirconium** enrobant ces pastilles sont étanches et piègent produits de fissions gazeux.
- 3) La **cuve en acier** (16 cm épaisseur) qui abrite le cœur du réacteur;
- 4) L'épaisse **enceinte de confinement** qui entoure le réacteur (acier+béton) ;
- 5) L'enceinte est elle-même englobée dans un **bâtiment** dont les parois de béton ont une épaisseur de 1,5 mètre.



Une cascade d'accidents

Le baptême du feu d'un cataclysme naturel

Un violent séisme de magnitude 9



vendredi 11 mars 2011 à 14 h 46 min 23 s

Un tsunami 1 heure après ...

Le vendredi 11 mars 2011 à 14 h 46 min 23 s (heure locale) a lieu le plus important séisme enregistré au Japon depuis des années.



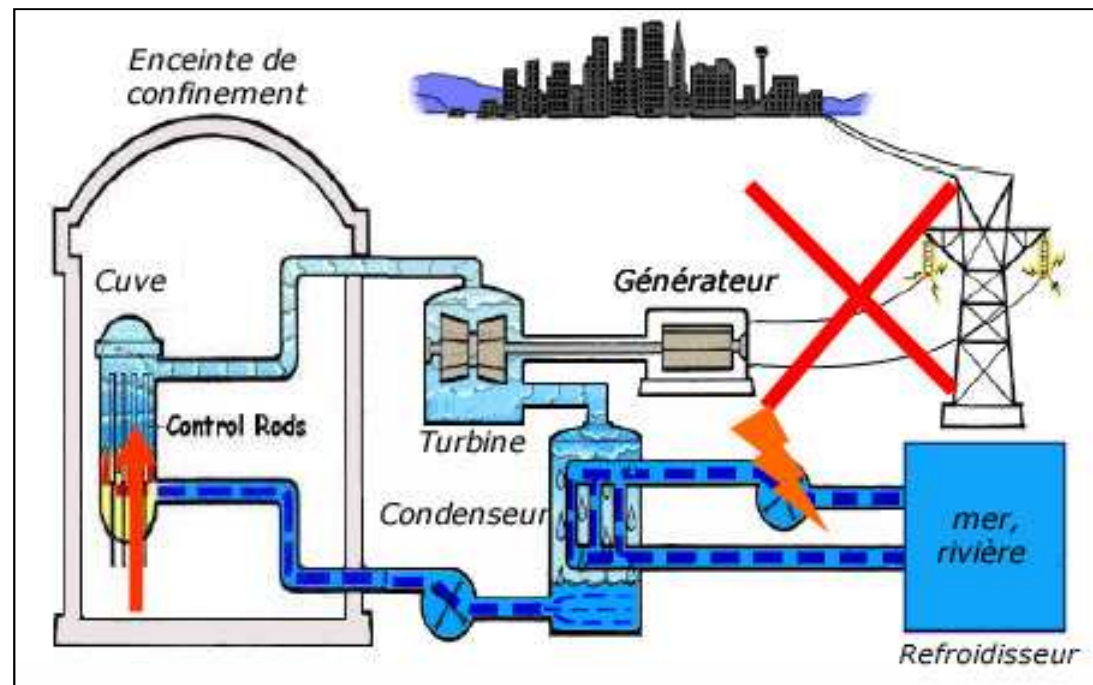
Une heure après, la centrale est atteinte par le tsunami provoqué par le tremblement de terre. **Les pompes du circuit secondaire sont endommagées**, ce qui interdit d'évacuer la chaleur des réacteurs dans l'eau de mer suivant le circuit normal. **Les groupes diesel de secours s'arrêtent brusquement une heure plus tard.**

Etape N°1 : le violent séisme

Séisme de magnitude 9.0

- Arrêt automatique des réacteurs
- Perte des alimentations électriques extérieures
- Il faut continuer à refroidir le cœur (10 MWth) et les piscines
- Mises en route des diesels de secours pour actionner les pompes permettant d'injecter de l'eau fraîche.

Les systèmes de sûreté vis-à-vis du séisme auraient fonctionné normalement



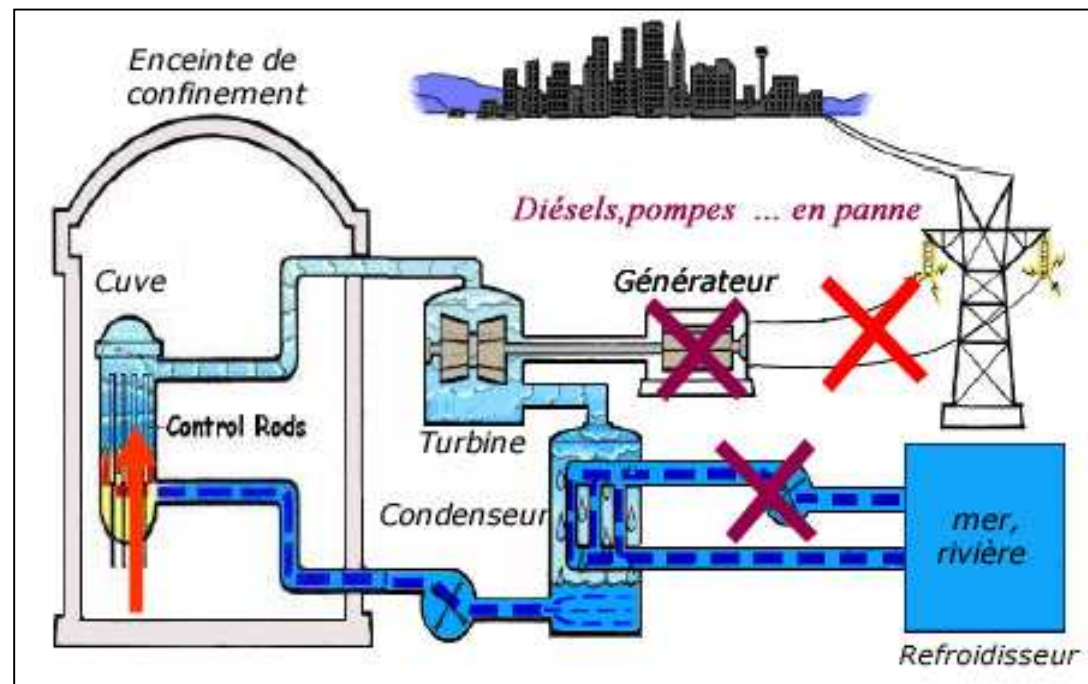
Etape N°2 : le tsunami ... perte du refroidissement

Vague de 14 m du tsunami

- La digue est dimensionnée à 5,7 m
- Les diesels de secours ne sont plus opérationnels
- Les cœurs des réacteurs et les piscines d'entreposages ne sont plus refroidis
- L'échauffement des combustibles des cœurs conduit à l'éclatement des gaines des gaines et à la fonte du combustible .

Les risque du tsunami a été sous-estimé

Pourquoi ?



Etape N°3 : ... fusions des cœurs de réacteurs

Des fusions précoces des cœurs

- Dégagement d'hydrogène (feu de Zirconium)
- Fusion des gaines et libération des radioéléments volatils
- Décompression volontaire de l'enceinte : rejets des radioéléments volatils
- Contamination de l'environnement
- +Manque de refroidissement des piscines d'entreposage

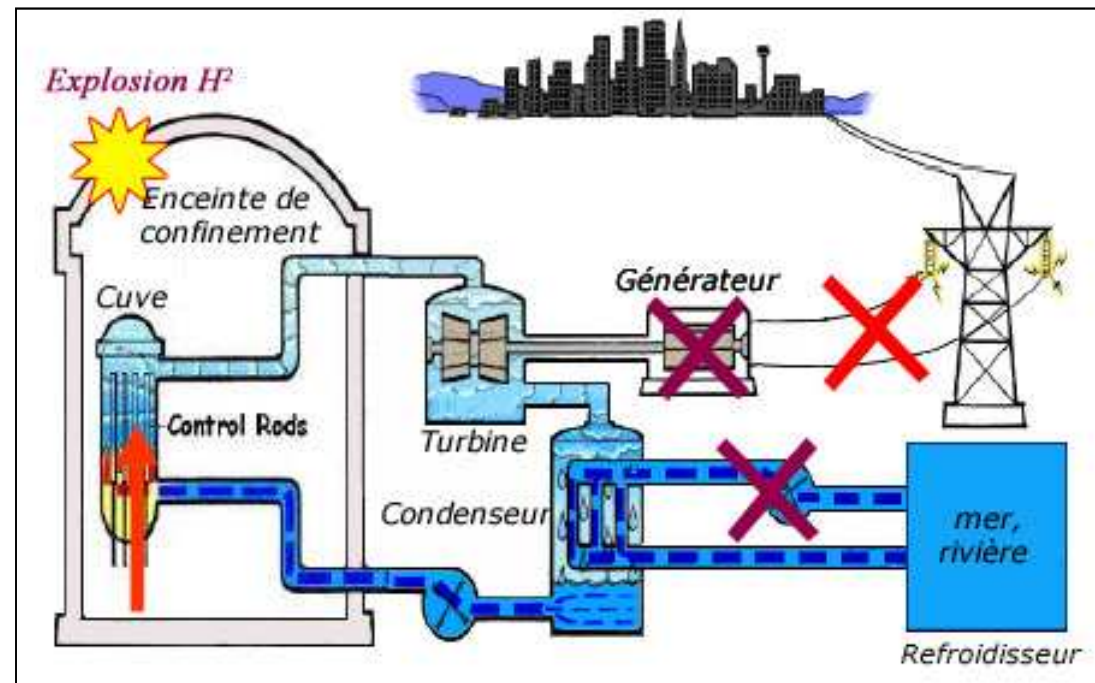
Perte totale
d'alimentation
électrique

+

Fusion précoce des
cœurs de réacteurs

+

Danger des cœurs usés

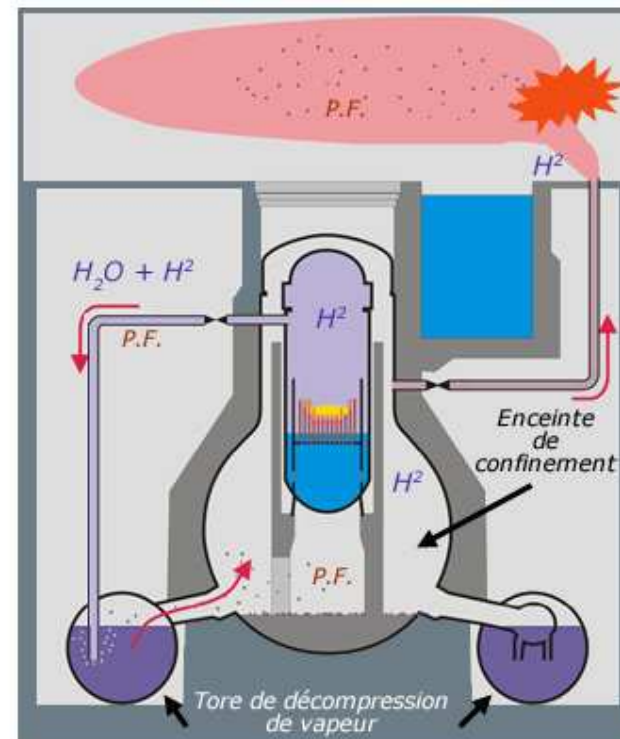


Etape N°4 : Explosions et rejets radioactifs ..;

Des explosions précoces des structures supérieures

- Décompression volontaire des enceintes
- Explosions d'hydrogène : manque de **recombineurs**, d'injection d'azote
- Endommagement des structures supérieures et mise à l'air des piscines d'entreposage
- +**Multiples autres difficultés**

Risque hydrogène non maîtrisé
+
Problème de refroidissement inattendu avec les piscines d'entreposage



Accidents de refroidissement ...

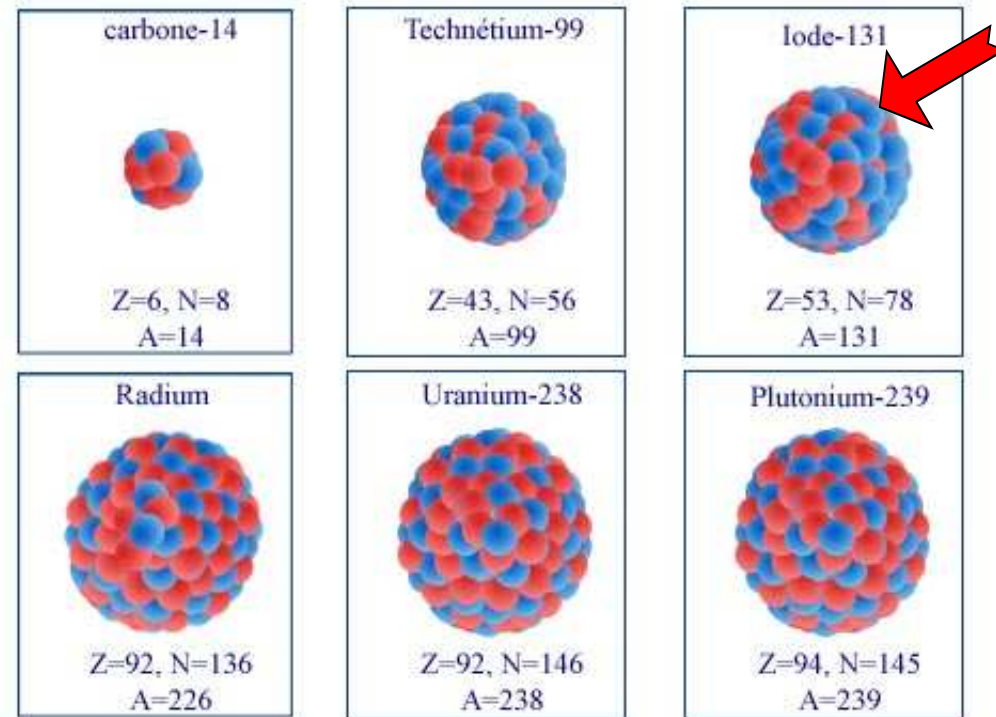
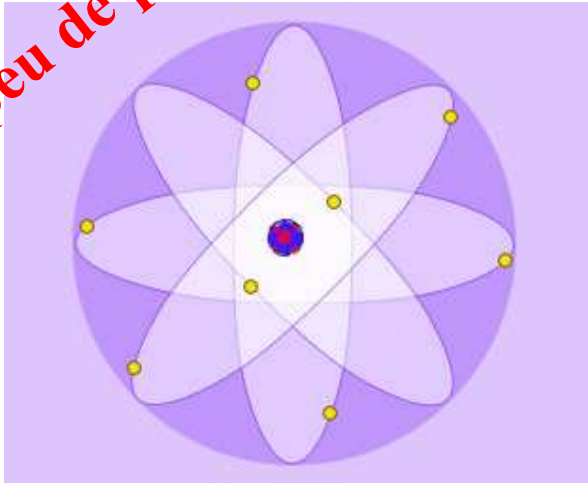
En raison du fort dégagement de chaleur après l'arrêt

Impératif de refroidir à tout prix

Atomes et noyaux radioactifs

La radioactivité est une propriété du noyau de l'atome

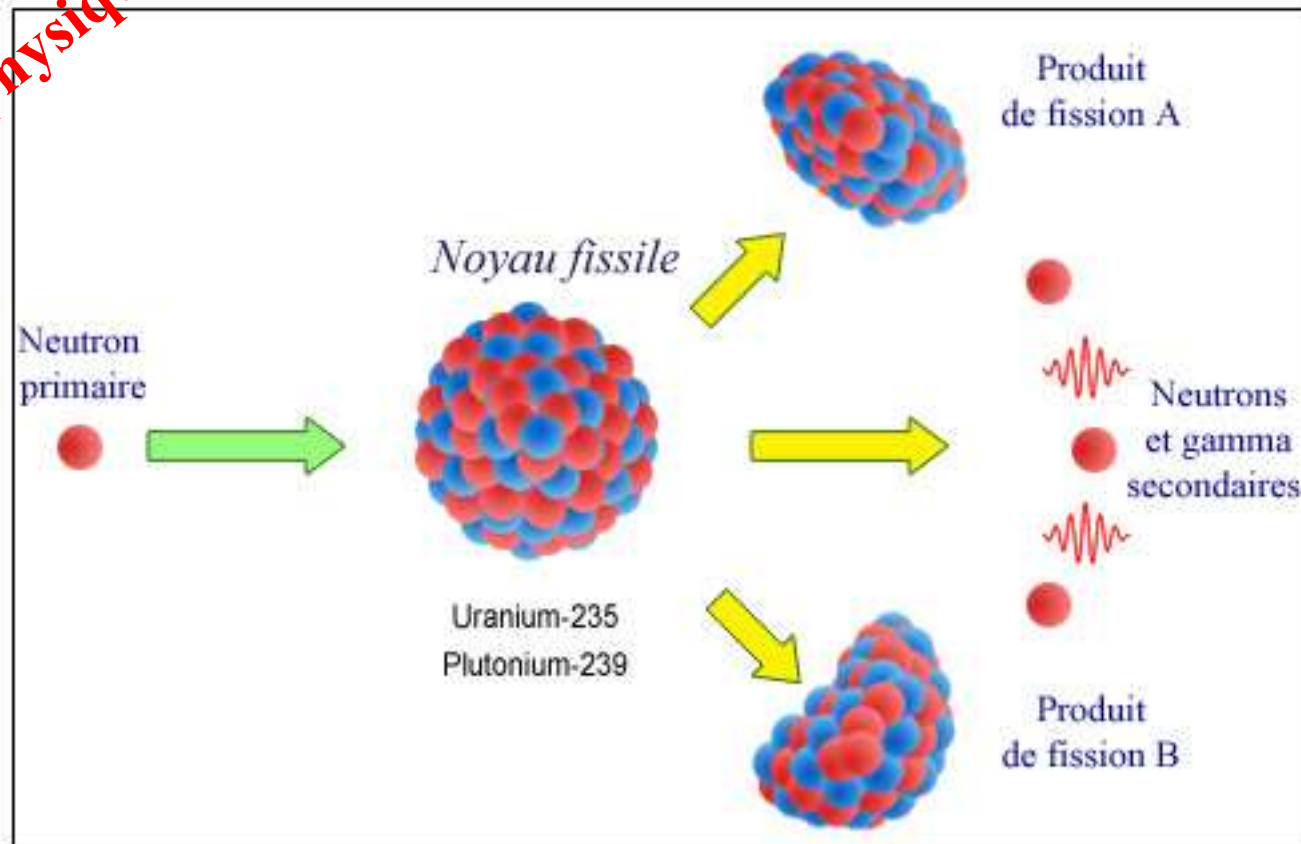
Un peu de physique



- Certains noyaux sont instables : ils se transforment en émettant des rayonnements
- Certains atomes radioactifs sont naturels (carbone-14, uranium, radium)
- D'autres atomes radioactifs sont produits dans les réacteurs : **Iode-131**, Pu-239

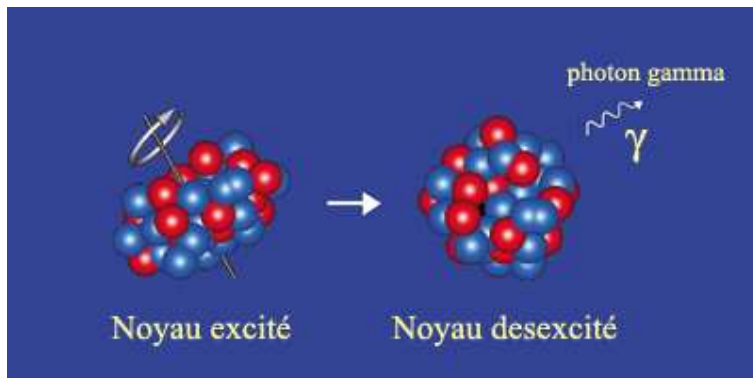
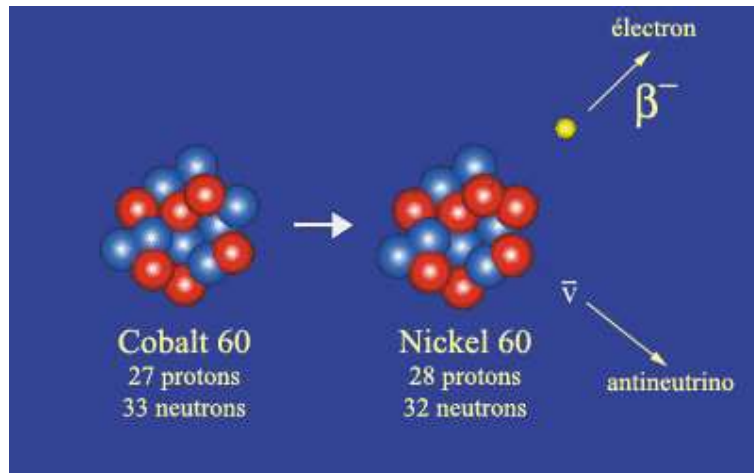
La fission nucléaire (rappel)

Un peu de physique



*Le réacteur tourne : la fission produit des **fragments radioactifs***

Produits de fission radioactifs : Rayons émis



Radioactivité **bêta**

- Concerne des noyaux moyens et lourds
- Emission d'un électron
- Le noyau fils est souvent stable

Un peu de physique

Radioactivité **gamma** : la lumière des noyaux

- L'émission d'un rayon bêta laisse souvent le noyau dans un état excité
- Le noyau se désexcite en émettant un rayon **gamma**
- Les gamma sont de même nature que les rayons X, les UV, les rayons lumineux
- Les rayons gamma sont plus pénétrants que X

Période et activité radioactives

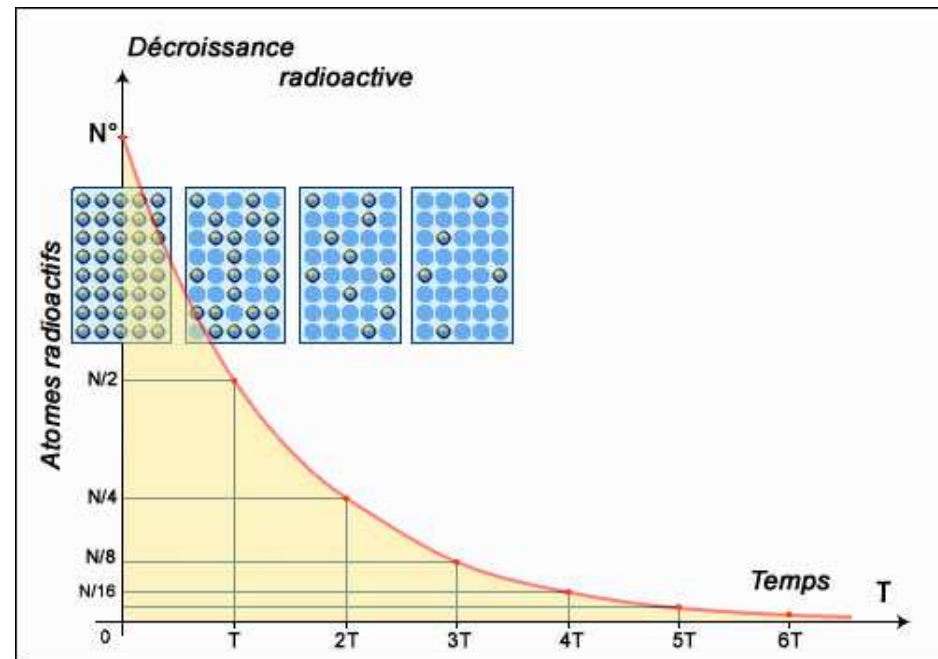
Un corps radioactif perd sa radioactivité avec le temps, comme un récipient qui se vide

- **Période** : temps au bout duquel la radioactivité est divisée par 2
- **Activité** ; nombre désintégrations (ou rayons) / seconde

Mesurer l'activité, c'est compter des atomes qui sont très nombreux

(chiffres affolants pour le public non averti)

Décroissance radioactive simple



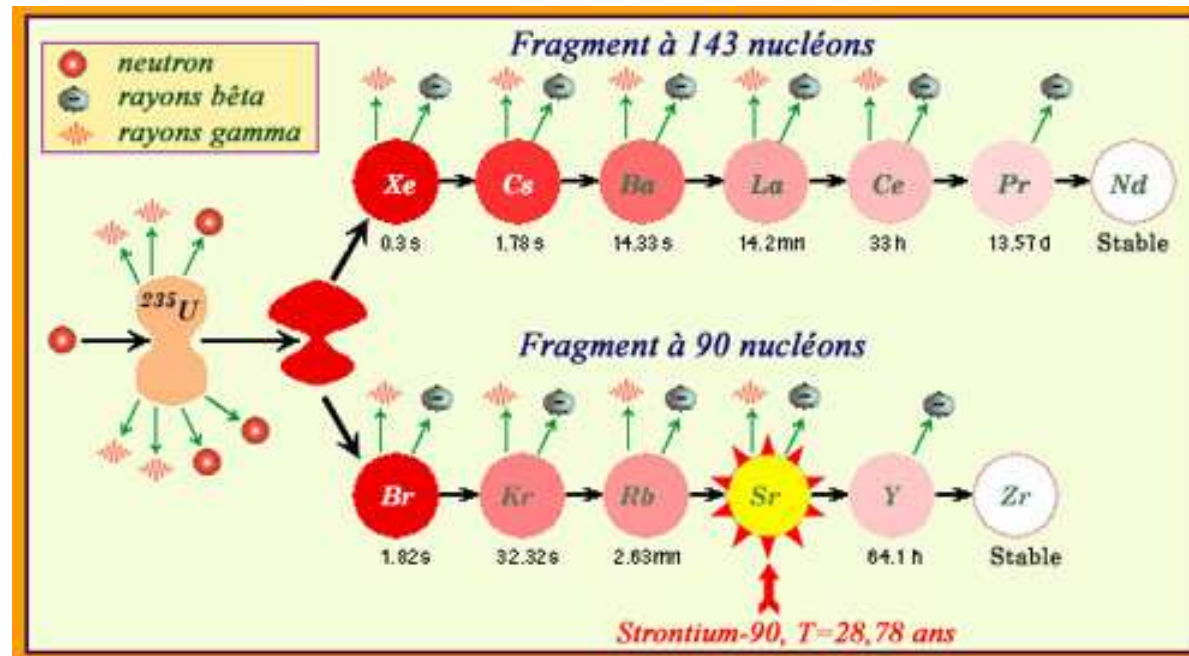
Au bout de 10 périodes la radioactivité est divisée par 1000

$$N. \text{ Avogadro} = 6,023 \cdot 10^{23} = 602\,300\,000\,000\,000\,000\,000\,000$$

Le parcours des produits de fission

Le réacteur s'arrête : les fragments radioactifs évoluent

*Exemple du
strontium-90
T= 29 ans*



*-Emission
de rayons*

*-Dégagement
de chaleur*

Les fragments frais très radioactifs retournent à la stabilité en émettant des électrons en cascade (rayons bêta) pour arriver à la « gare finale » : un noyau stable.

Certains s'arrêtent longtemps (jours, années) dans une des dernières gares.

Conséquences d'une perte de refroidissement :

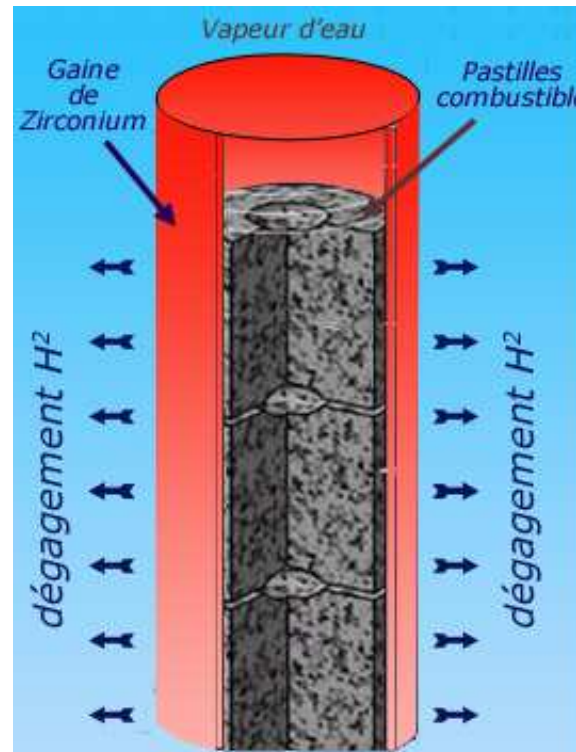
Feu de Zirconium = Dégagement d'hydrogène explosif + Perte d'étanchéité des gaines.

Relâchement de radioactivité (P.F. volatils)

Le volume de vapeur diminue
Température et pression montent

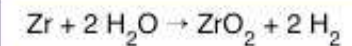
-830 ° C : détérioration de la gaine de zirconium
Oxydation avec dégagement de H²
- 1200 ° C : Rupture de la gaine
Relâchement produits volatils
-1600 ° C : fusion de la gaine
-2800 ° C : fusion des pastilles céramiques du combustible

Fusion partielle ou totale du cœur ?



$T > 900 \text{ ° C}$

Oxydation du zirconium

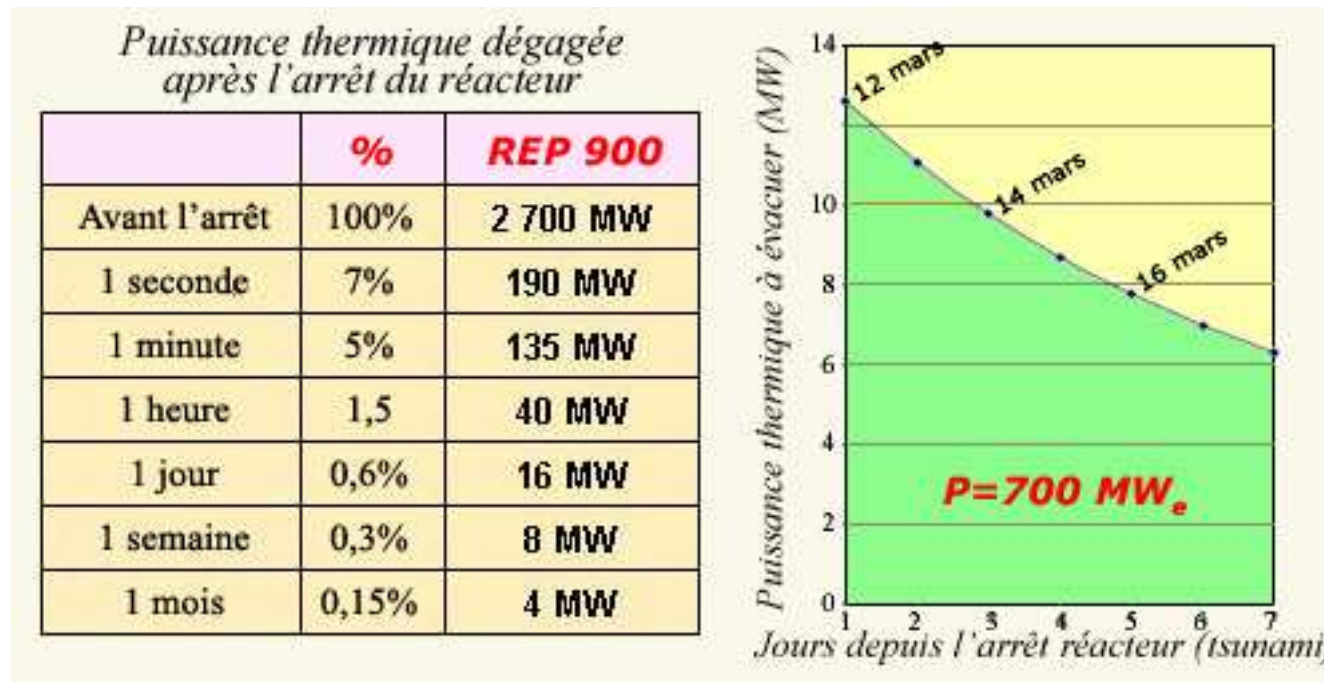


- Dégagement hydrogène
- Dégradation gaine
- Fuite radioisotopes volatils

Fort dégagement de chaleur après l'arrêt

A l'arrêt des réactions de fission, le réacteur dégage toujours environ 7 % de sa puissance thermique nominale : 2 % de la puissance 1/2 heure après ; 1 % de la puissance 8 heures après ; 0,6 % de la puissance après 1 jour, 0,3 % après 1 semaine, 0,15 % après un mois.

Cela diminue de moins en moins vite.



Refroidir à tout prix avec beaucoup d'eau froide

Remède : injecter de l'eau dans la cuve

Mode normal : Circuit fermé
eau recyclée

Circuit ouvert
(pompes en panne)

- L'eau manque ;*
- On injecte de l'eau **de mer***
- La vapeur passe dans l'enceinte*
- H² & produits radioactifs*
volatils passent aussi



. Le refroidissement du cœur est considéré comme prioritaire, quitte à ce qu'une faible radioactivité sorte de l'enceinte (des bassins d'épandage sont prévus pour retenir ces eaux de refroidissement potentiellement contaminées). Cette approche instaure un « **mode dégradé** » grâce auquel le plus gros de la radioactivité reste à l'intérieur des barrières de confinement.

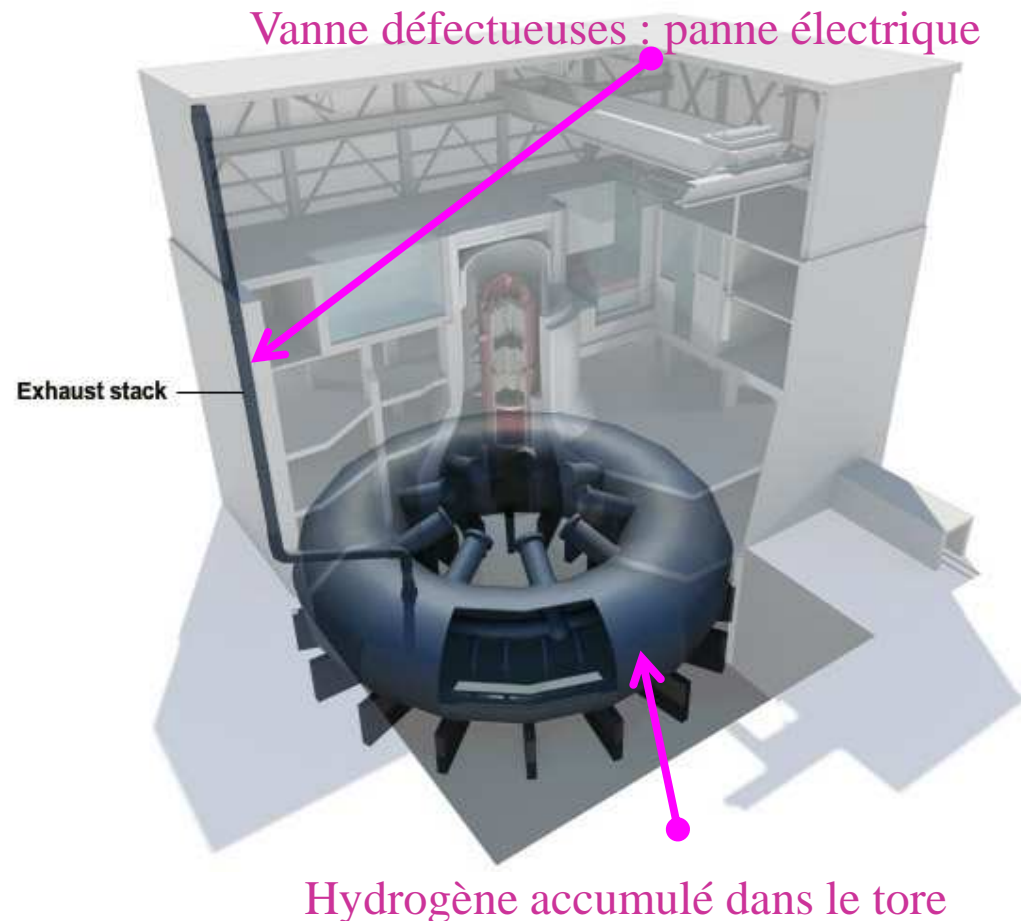
Des pompes injectent de l'eau dans les cuves 2 jours après le 11 mars

Décompressions de l'enceinte

En circuit ouvert, l'eau injectée dans la cuve passe sous forme de vapeur dans l'enceinte de confinement.

Il est jugé préférable, lors de ce type d'accident, de laisser s'échapper la vapeur et l'hydrogène accumulés dans l'enceinte, quitte à entraîner vers l'extérieur une contamination radioactive généralement limitée tant que les gaines de combustible n'ont pas encore fondu

Pour soulager l'enceinte on procède à des décharges grâce à des conduits de ventilation. Le système de ventilation conçu pour empêcher les explosions d'hydrogène n'a pas fonctionné au moins dans deux des réacteurs. Une bonne ventilation aurait réduit la quantité d'hydrogène dans les bâtiments du réacteur.

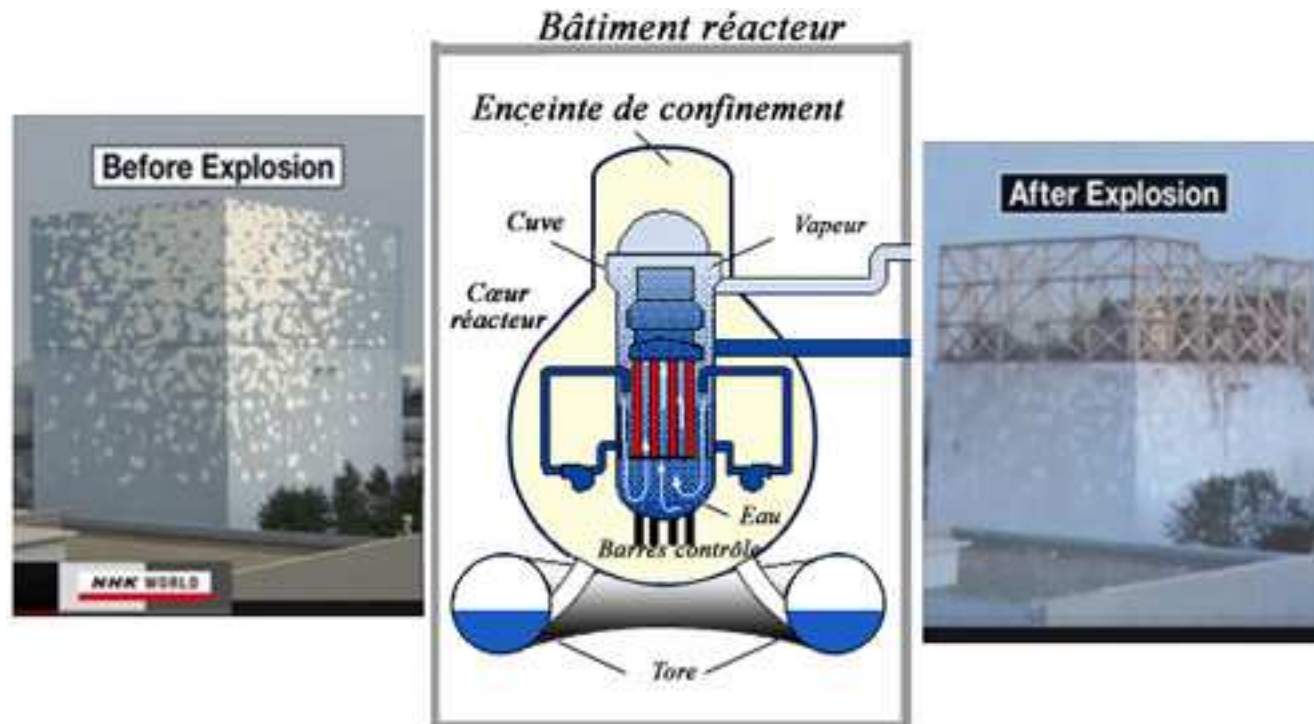


La vapeur est accompagnée d'hydrogène et de radioéléments

Explosions en cascade : le réacteur N°1

Première explosion le 12 mars 2011 ... 24 h après le tsunami

La température augmente et la pression y atteint une fois et demie son niveau normal. Si la pression dans la cuve peut être soulagée par l'ouverture de soupapes de surpression, cela conduit à une augmentation de la pression dans l'enceinte de confinement du réacteur. Selon TEPCO, la pression dans l'enceinte du réacteur n° 1 est passé en quelques heures de 400 kPa à environ 840 kPa (8 atmosphères)



Explosion du réacteur N°2

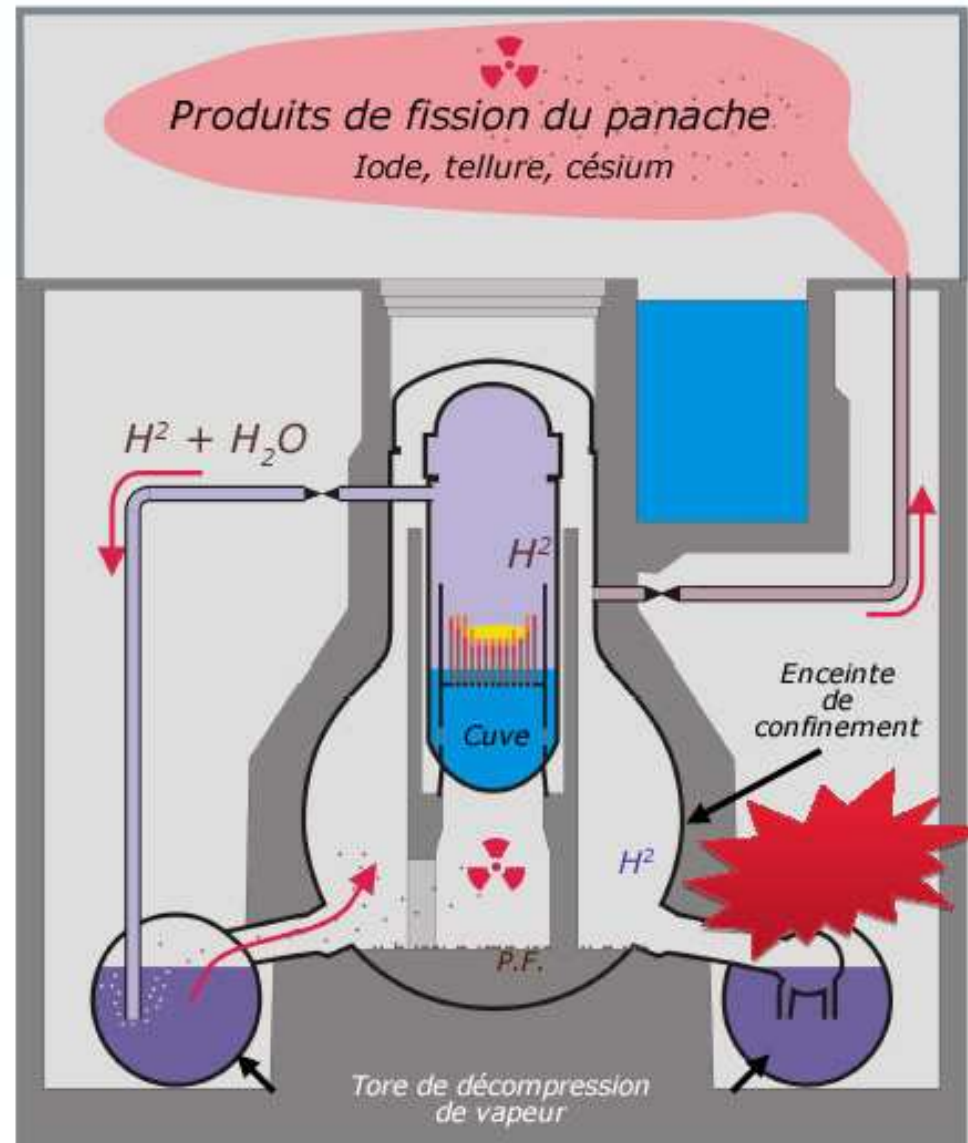
Survient le 15 mars à 6 h 10.

Explosion en partie basse

Deux explosions successives, le 15 mars, ont probablement endommagé l'enceinte de confinement de ce réacteur, et rejeté des matières radioactives

Les vents soufflent vers la terre

Il pleut, il neige



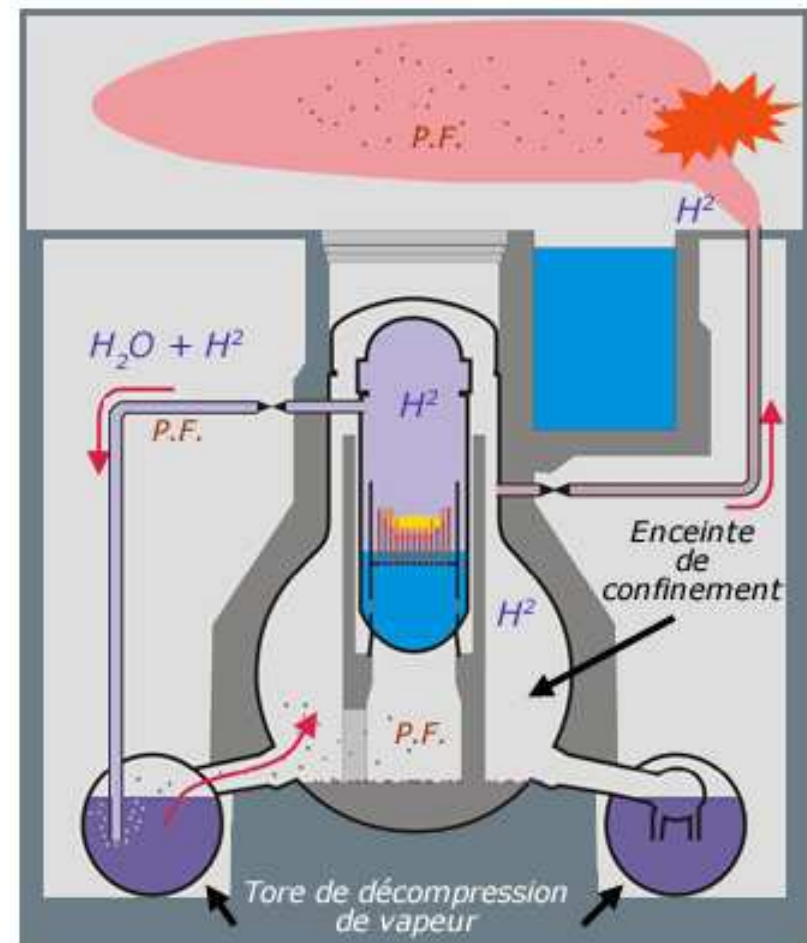
Explosion du réacteur N°3

Survient le 13 mars à 5 h 10



13/10/2011 Ch. de la Vaissière

L'explosion souffle le toit
Les plus forts dégâts extérieurs, qui
gêneront les accès et l'arrivée de matériels.



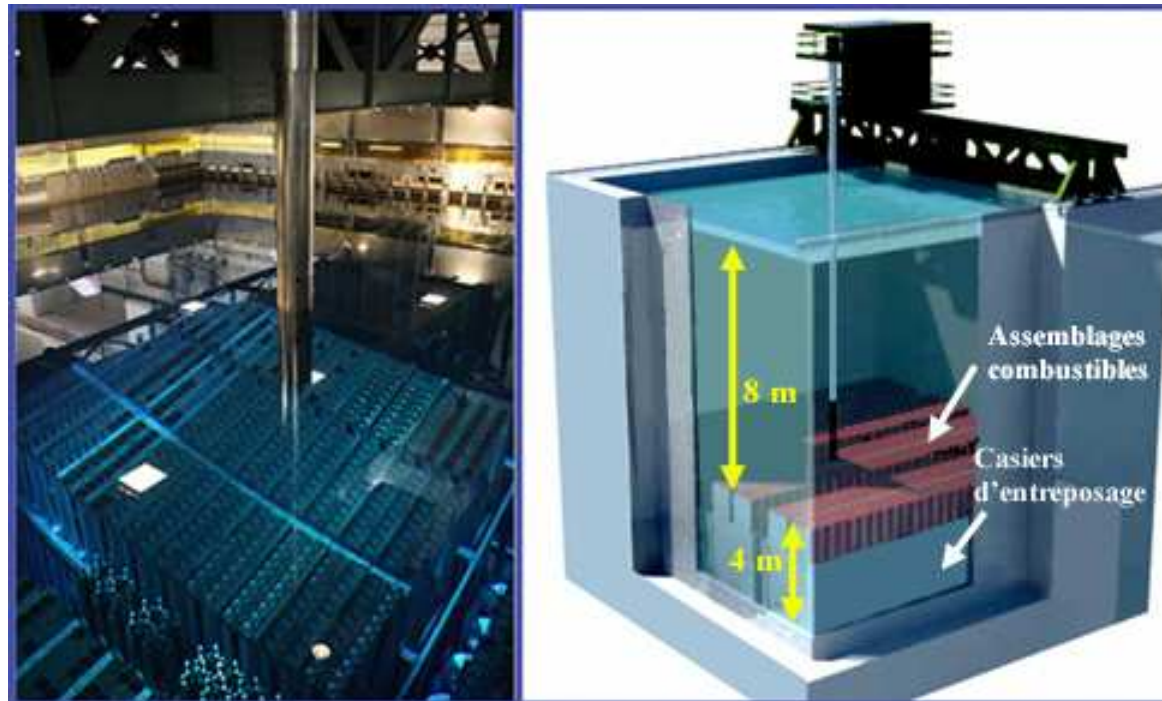
26

Ce n'est pas tout :
problème
avec les piscines d'entreposage du
combustible utilisé

*Après 3 ans dans le cœur du réacteur, le combustible utilisé est
entreposé dans une piscine située à proximité*

Piscines d'entreposages

Ce combustible usé a encore besoin de refroidir avant évacuation pour un retraitement

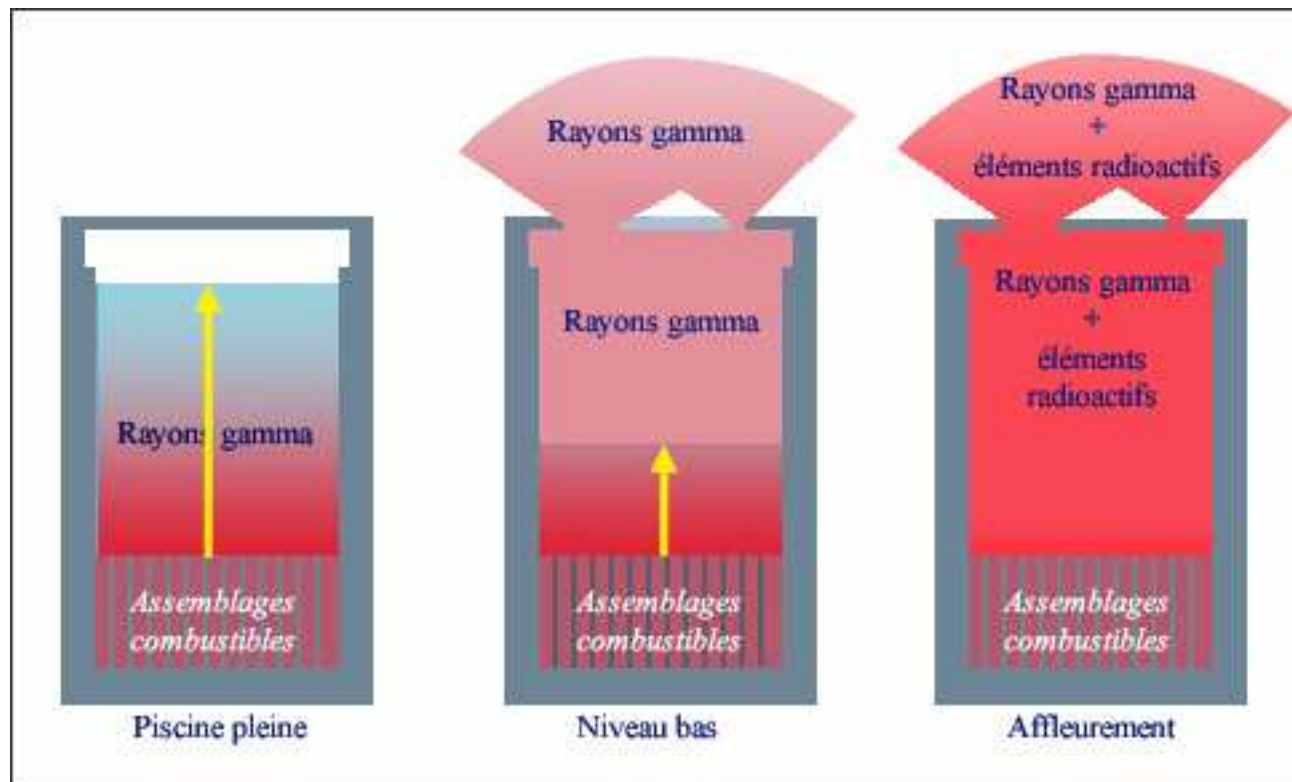


La piscine du réacteur n° 4 (qui était à l'arrêt pour entretien) contenait 1 331 assemblages de combustibles usés sortis du cœur

Baisses de niveaux dans la piscine du N°4

On a cru que faute de refroidissement ces assemblages se dénoyaient avec un début de fusion

Une explosion survient le 15 mars à 9 h 38 et souffle le toit



Plus tard, une video montrera les assemblages intacts. L'explosion proviendrait de H² provenant du N°3 voisin

NB : Le combustible est « vieux ». L'iode radioactif a disparu. Seul reste le césium.

Le problème des eaux radioactives

Un autre problème majeur survient

Des eaux radioactives partout

A force d'injecter de l'eau, il y en a partout ...

500 T/jour (juin)

Cette eau a dissous des radioéléments (iode, césium)
Elle est très radioactive

Un malheur et une chance ...

Débits au 18 sept

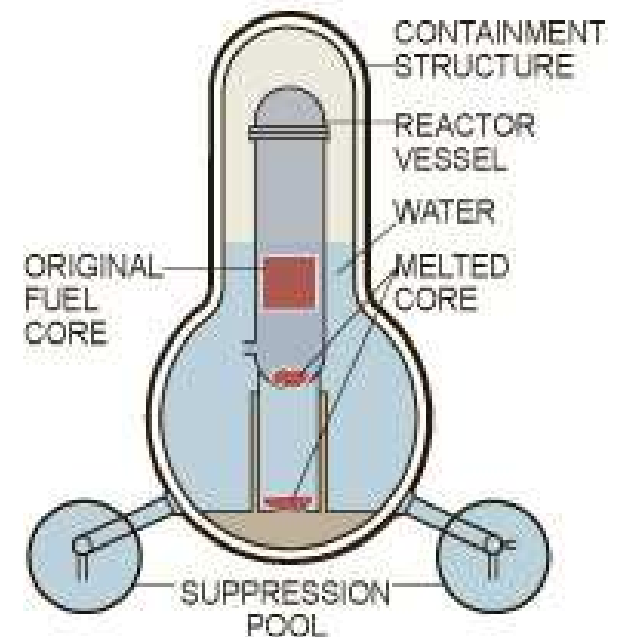
N°1 - 3,5 m³/h

N°2 - 2 m³/h

N°3 - 6 m³/h

Fresh Threats

A document prepared by the Nuclear Regulatory Commission describes stresses placed on containment structures as they fill with cooling water, making them more vulnerable to rupture in one of the aftershocks near the site. Below, the worst-case situation would be if the water rose above the fuel level.

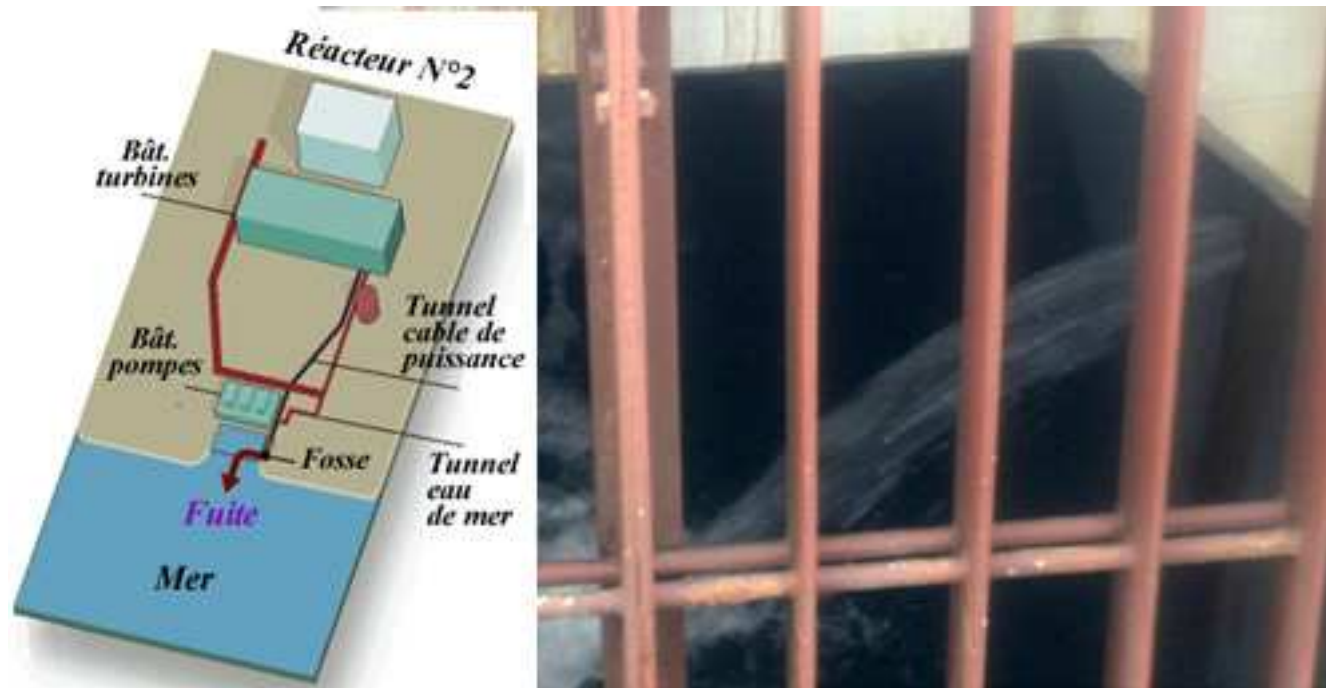


THE NEW YORK TIMES

Fuites radioactives à l'unité N°2

Fin mars, début avril : grosse fuite dans une fosse de l'unité 2. De l'eau très radioactive se déverse dans la baie. La fuite est colmatée le 4 avril.

Cette eau est très radioactive : Iode-131 et césiums 134 et 137 dissous.



100 000 tonnes de cette eau inondent les bâtiments et interdisent les interventions

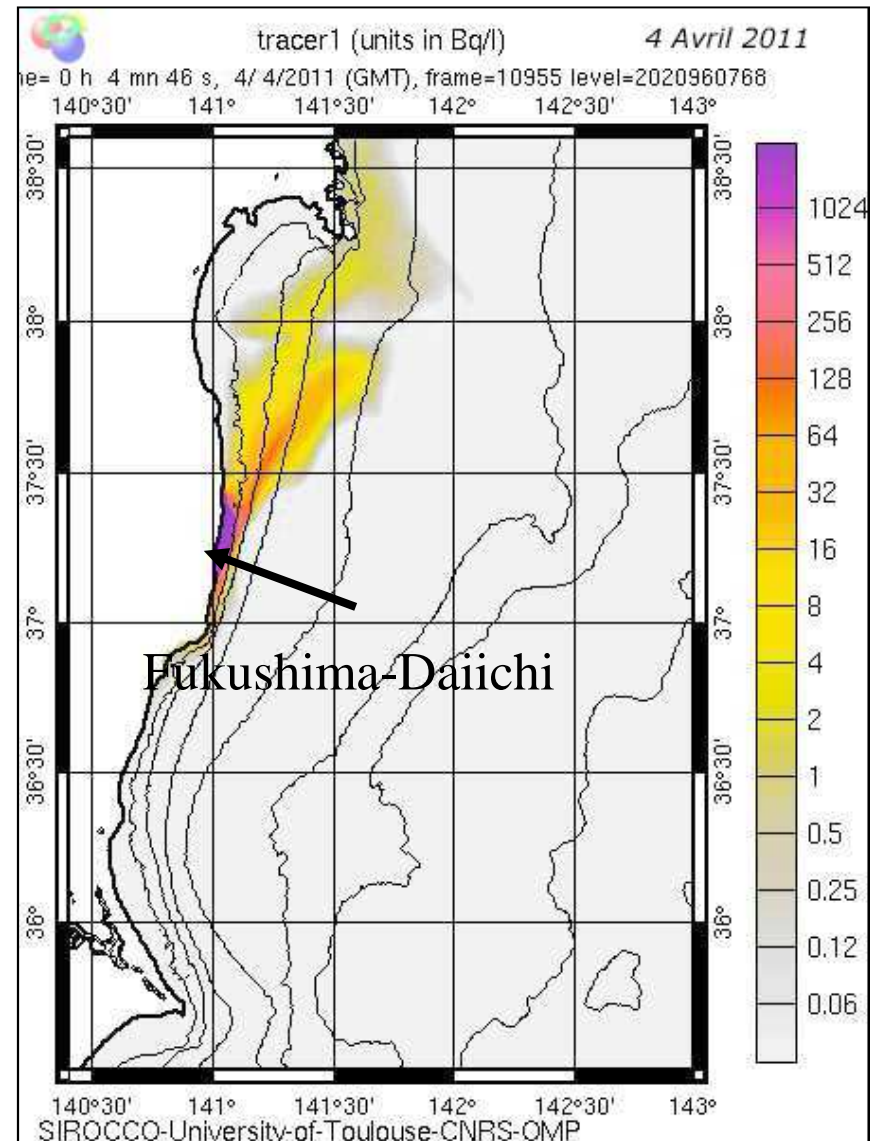
Rejets liquides radioactifs en mer

Rejets liquides au 4 avril 2011

La côte près de Fukushima est très polluée

On observe une radioactivité de l'eau de mer très élevée à cause de l'iode-131 prédominante mais amenée à disparaître en quelques semaines.

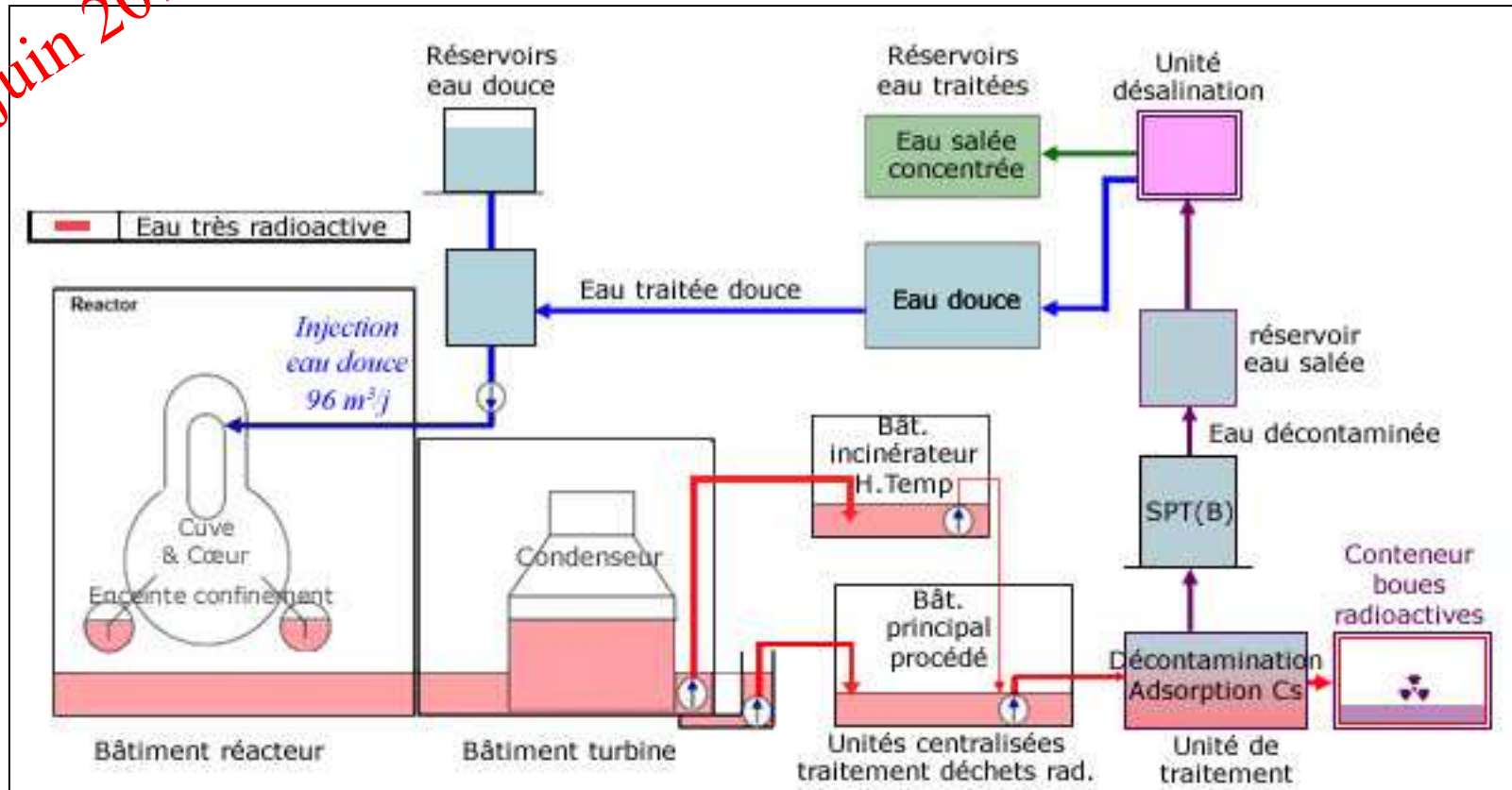
Les césiums 134 et 137 vont perdurer et une partie se retrouve dans les sédiments (peu de fond et manque de brassage).



Décontamination des eaux radioactives

Une étape essentielle (passée sous silence) : 1200 tonnes décontaminées par jour.

Mi-juin 2011



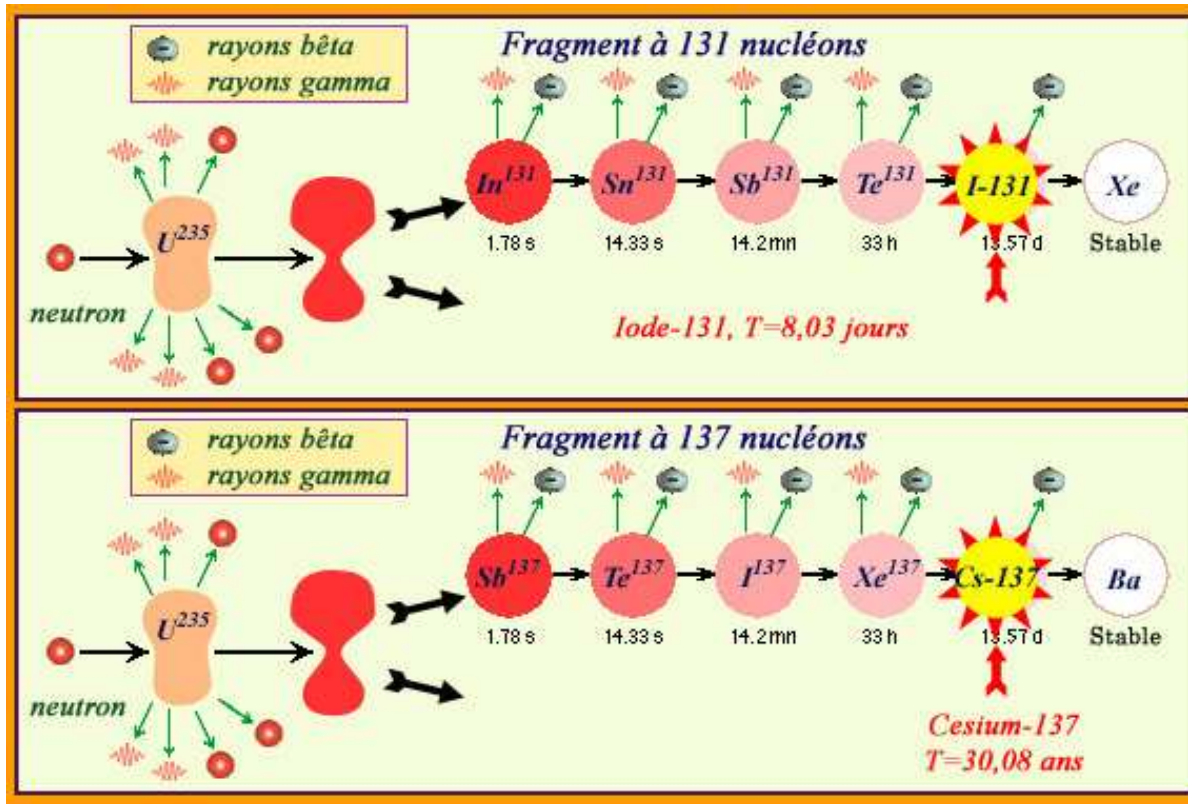
On commence à réoccuper les bâtiments inondés et réinjecter l'eau douce et décontaminée pour refroidir

Contaminations radioactives

*Principaux ennemis :
les produits de fission radioactifs volatils
Iode-131, Césium-137 et 134*

Iode-131 et Césiums 137 et 134

Les désintégrations radioactives émettent des rayons bêta et gamma qui continuent après l'arrêt du réacteur



*Chaîne
de l'Iode-131
(8 jours)*

*Chaîne
du Césium-137
(30 ans)*

+ Césium-134 (2 ans)

Principaux contributeurs car ils sont mobiles

Relation entre période radioactive et activité

Un peu de physique

On compte les atomes

238 grammes d'Uranium-238

Période = **4,5 milliards d'années**

Atomes = 602 300 000 000 000 000 000 000

Activité = 2 940 000 000 Bq

↑
milliard

131 grammes d'Iode-131

Période = **8 jours**

Atomes = 602 300 000 000 000 000 000 000

Activité = 596 000 000 000 000 000 Bq

↑
milliard

1 Bq = 1 désintégration par seconde

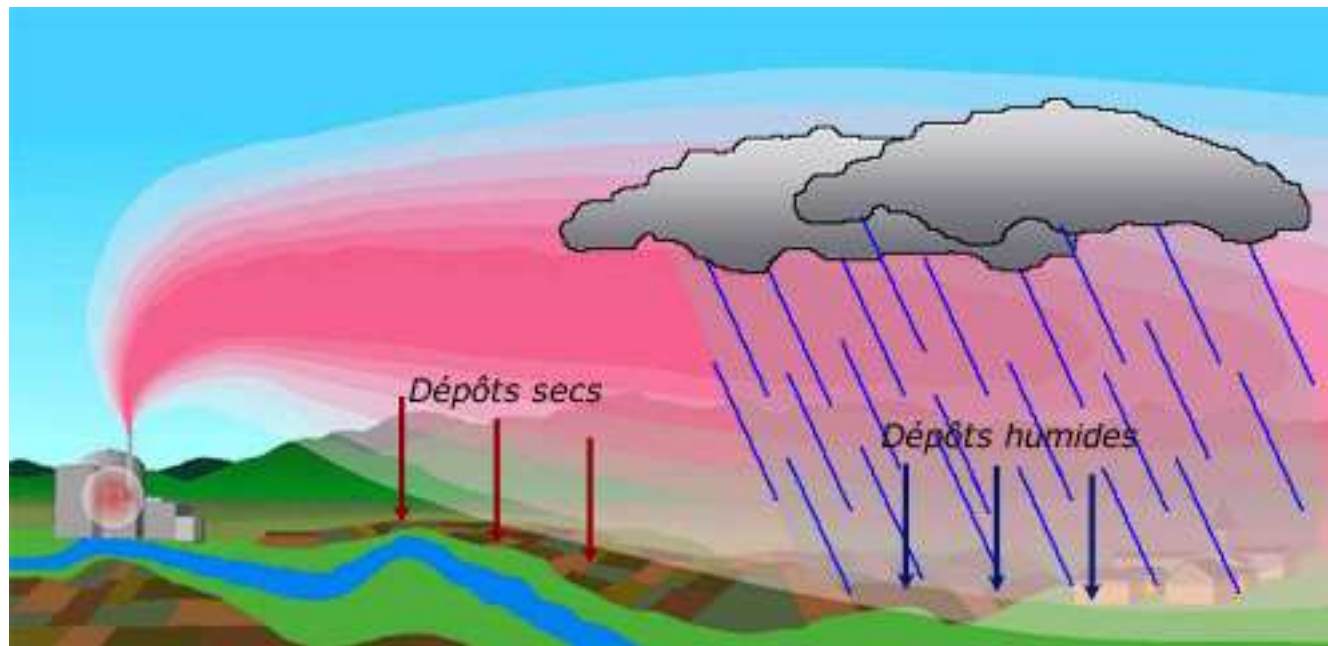
Une unité très petite ... et chiffres impressionnants pour le non spécialiste



Les activités sont en raison inverse des périodes

Iode-131 et Césium-137

Les barrières (enceintes) ont retenu le gros de la radioactivité
Elles ont laissé passer les volatils (décompressions, explosions).
Projections à faible altitude



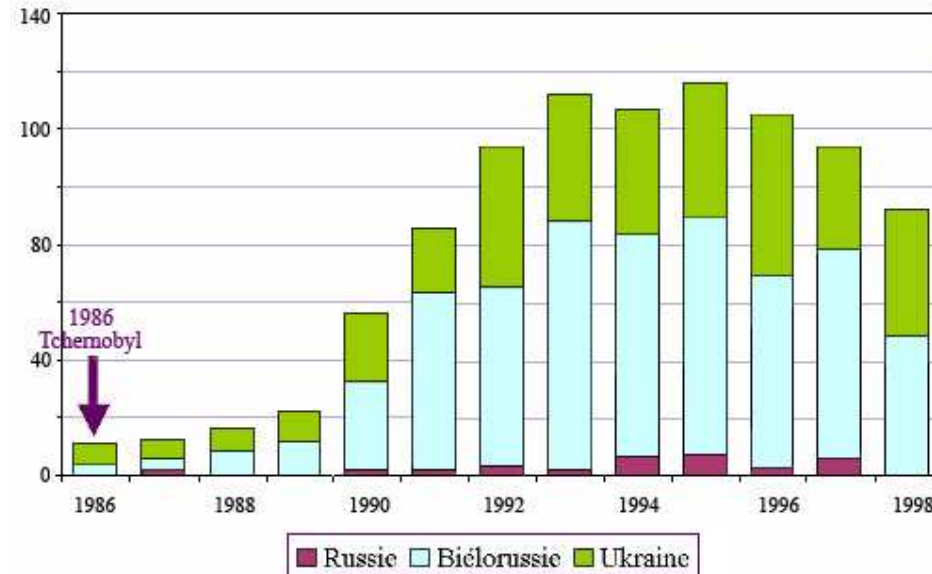
Facteur chance : les vents soufflaient vers le Pacifique

Premier ennemi

Iode-131 et cancers de la thyroïde

Inhalation et ingestion d'iode-131 (période 8 jours)

La thyroïde, un aimant pour l'iode et donc les iodes radioactifs, surtout pour les enfants et adolescents.



Tchernobyl : 7 000 cancers. Doses à la thyroïde supérieures à 500 mGy.

Lait contaminé + carence d'iode + mesures tardives

Fukushima : A venir, mais il pourrait ne pas y avoir de cancers ou peu

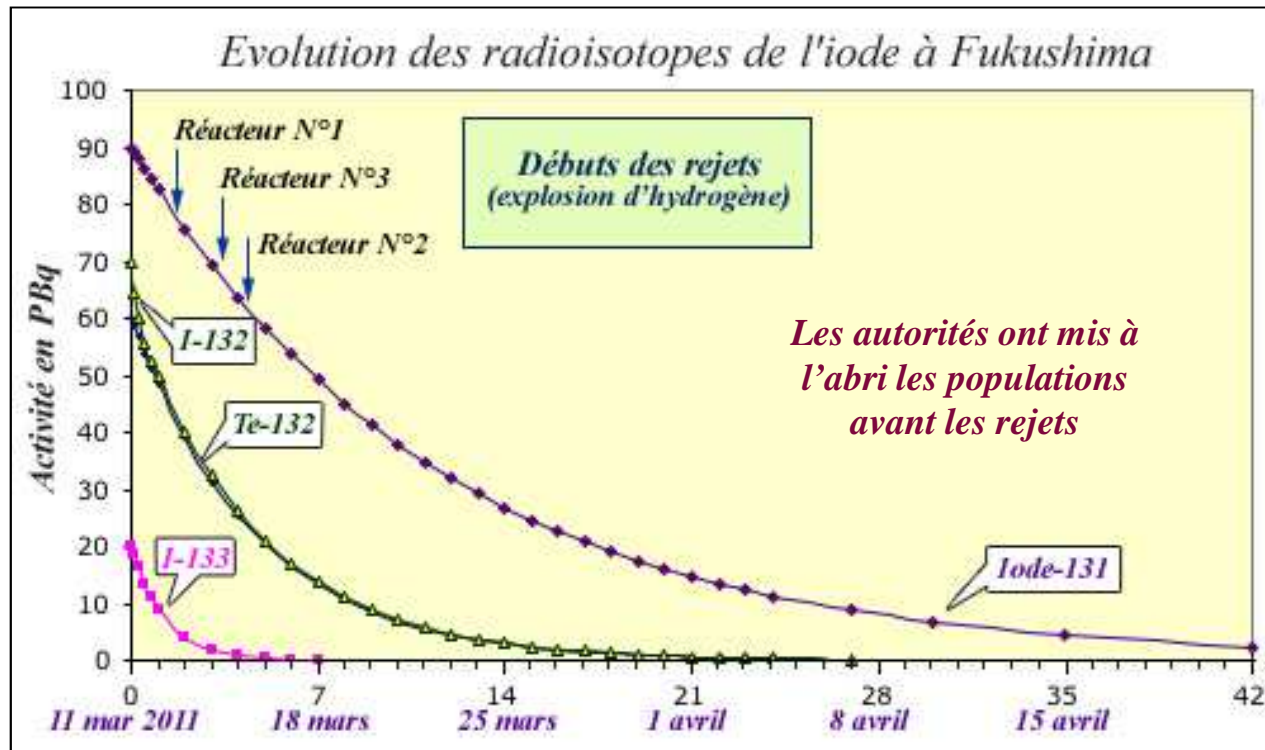
Source IRSN : doses à la thyroïde (enfant 1 an) beaucoup plus basses

- Ville de Fukushima < 10 mGy ; Tokyo < 1 mGy
- régime iodé élevé + mesures et contrôles alimentaires précoces

Suivi sur 20 ans des jeunes de moins de 18 ans des zones évacuées lancé par les autorités japonaises

Disparition rapide des iodes radioactifs

Principale radioactivité peu après l'accident



*Terme
source
130-150 Pbq*

*Tchernobyl
1800 PBq*

Activité divisée par 1000 en 80 jours

En majorité vers le pacifique ou dissoute dans l'eau de refroidissement

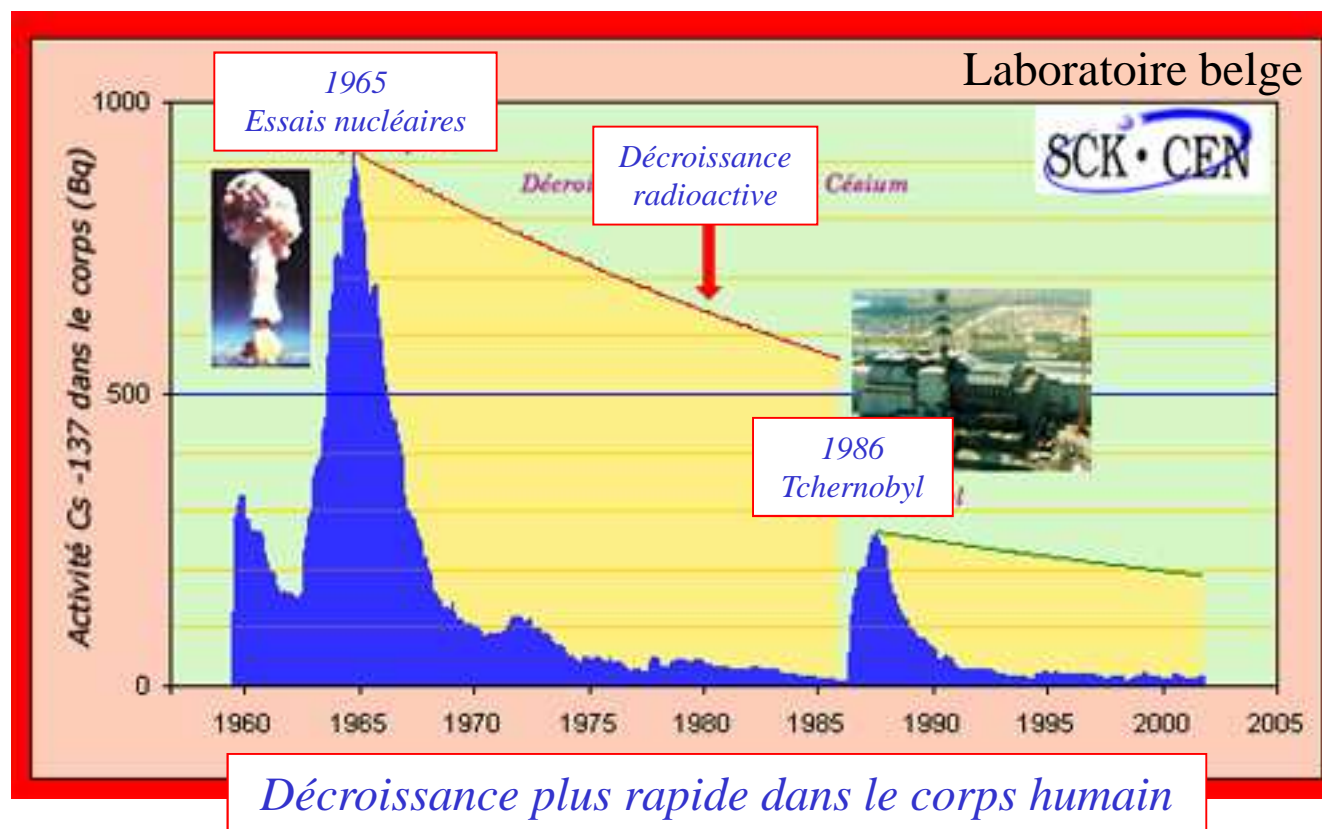
Césium 137 : le long terme, 30 ans de période

L'ennemi durable

1370 fois moins radioactif que l'iode-131, mais il dure !

*Rejets source
6-12 PBq
(1,9-3,8 kg)*

*Tchernobyl
85 PBq
(1,9-3,8 kg)*

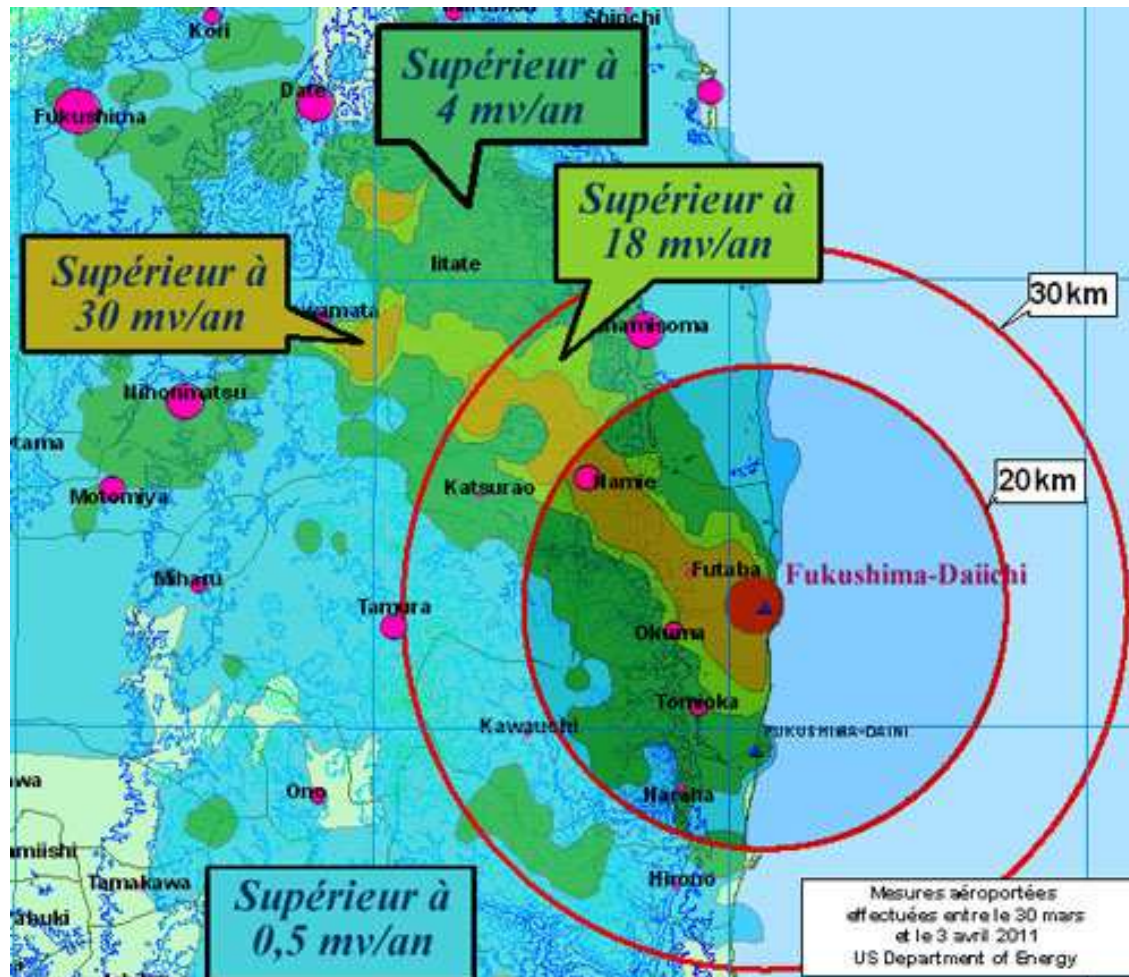


Décroissance plus rapide dans le corps humain

Analogue potassium. Moins dangereux que l'iode. Va dans la masse musculaire (100 jours)

NB : Césium-134 (2 ans de période) est encore présent à Fukushima

Carte des dépôts au sol



15 mars : Réacteur N°2
Explosion en partie basse
Il pleut, il neige
Vent vers Nord-Ouest

Zone contaminée
Bande de 850 km²

Zone évacuée des 20 km
Zone 30 km conseillée

85 000 + 30 000 évacués
(Tsunami 500 000 évacués)

30 sept : Le Japon lève quelques évacuations en bordure de la zone des 20 km

http://www.nytimes.com/2011/10/01/world/asia/japan-lifts-evacuation-advisories-near-damaged-nuclear-plant.html?_r=2&ref=world

Rejets atmosphériques et contaminations en mer

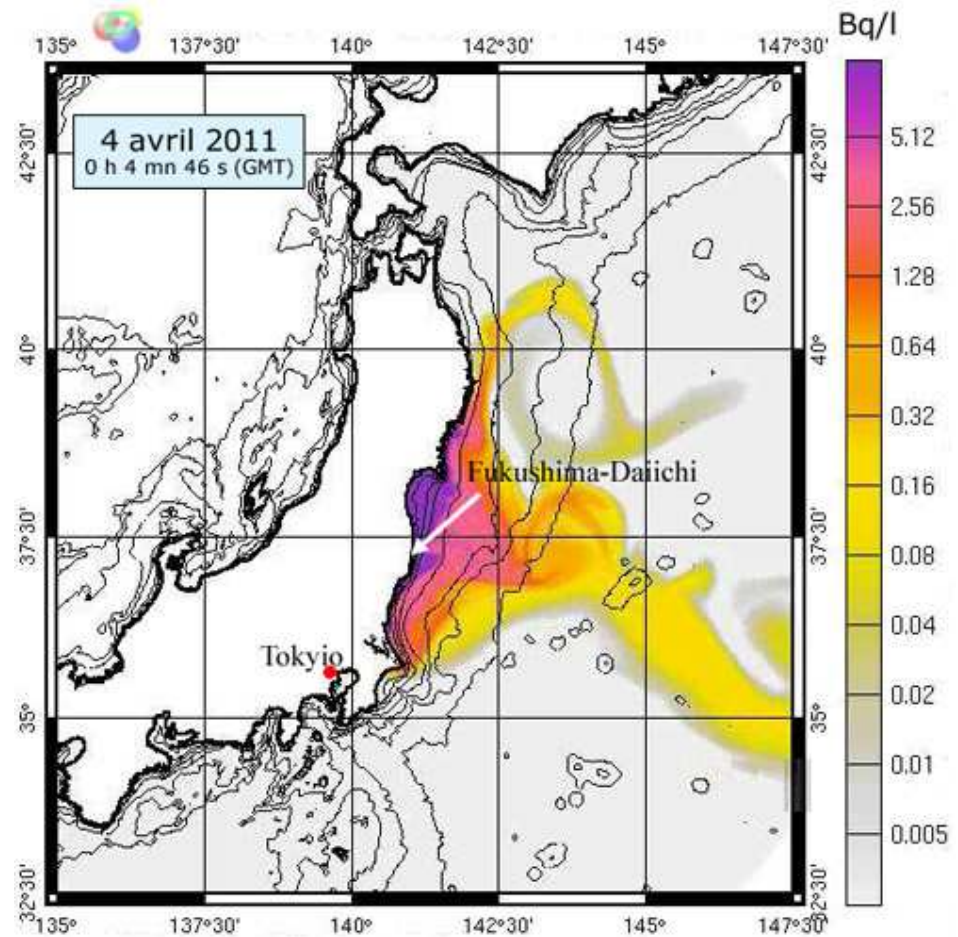
Animation IRSN 23 mars : http://www.irsn.fr/FR/popup/Pages/animation_dispersion_rejets_19mars.aspx

Le **nuage** de rejets atmosphériques se sont surtout dirigés vers le Pacifique

L'iode-131 prédomine mais disparaît en quelques semaines. Les césiums 134 et 137 perdurent.

Les atomes radioactifs tombent progressivement dans l'océan où ils se diluent en fonction du brassage. L'eau de mer intercepte les rayons..

Contrôle de la chair des poissons (Césium)

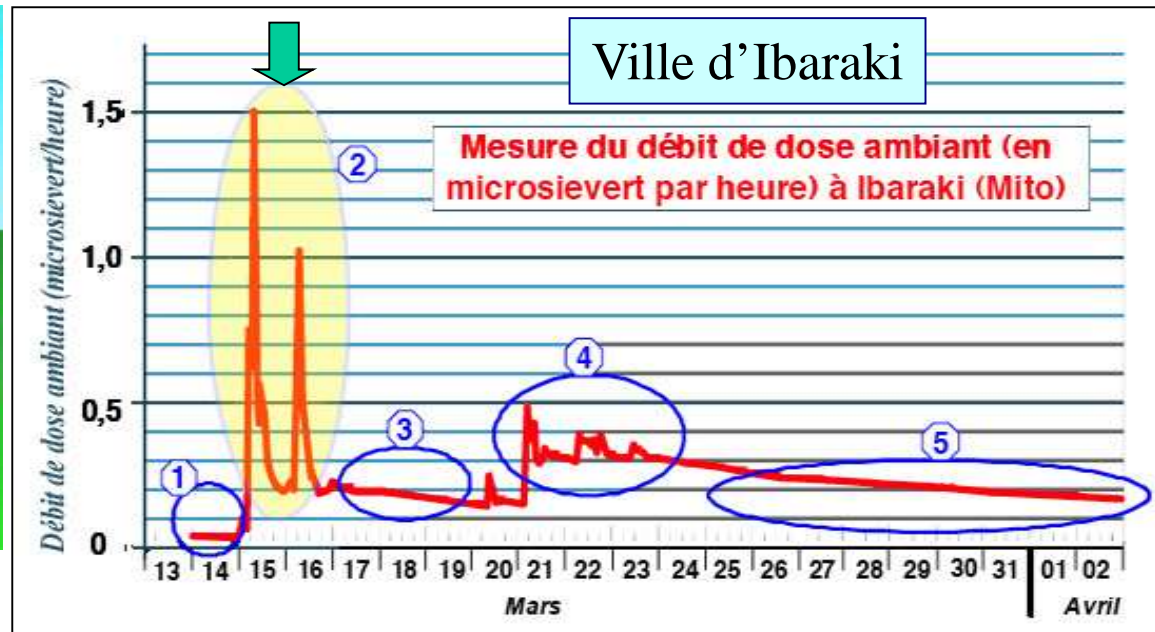
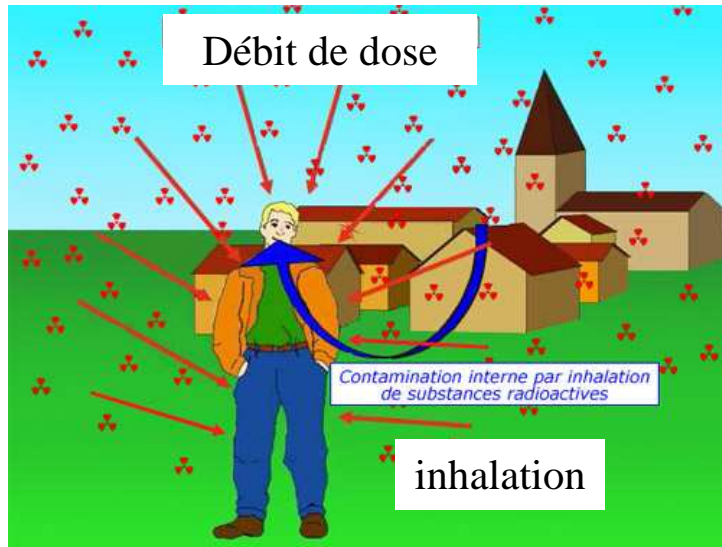


Carte au 4 avril

Conséquences sanitaires

Exposition aux rejets atmosphériques

Explosions des réacteurs N°2 et N°3

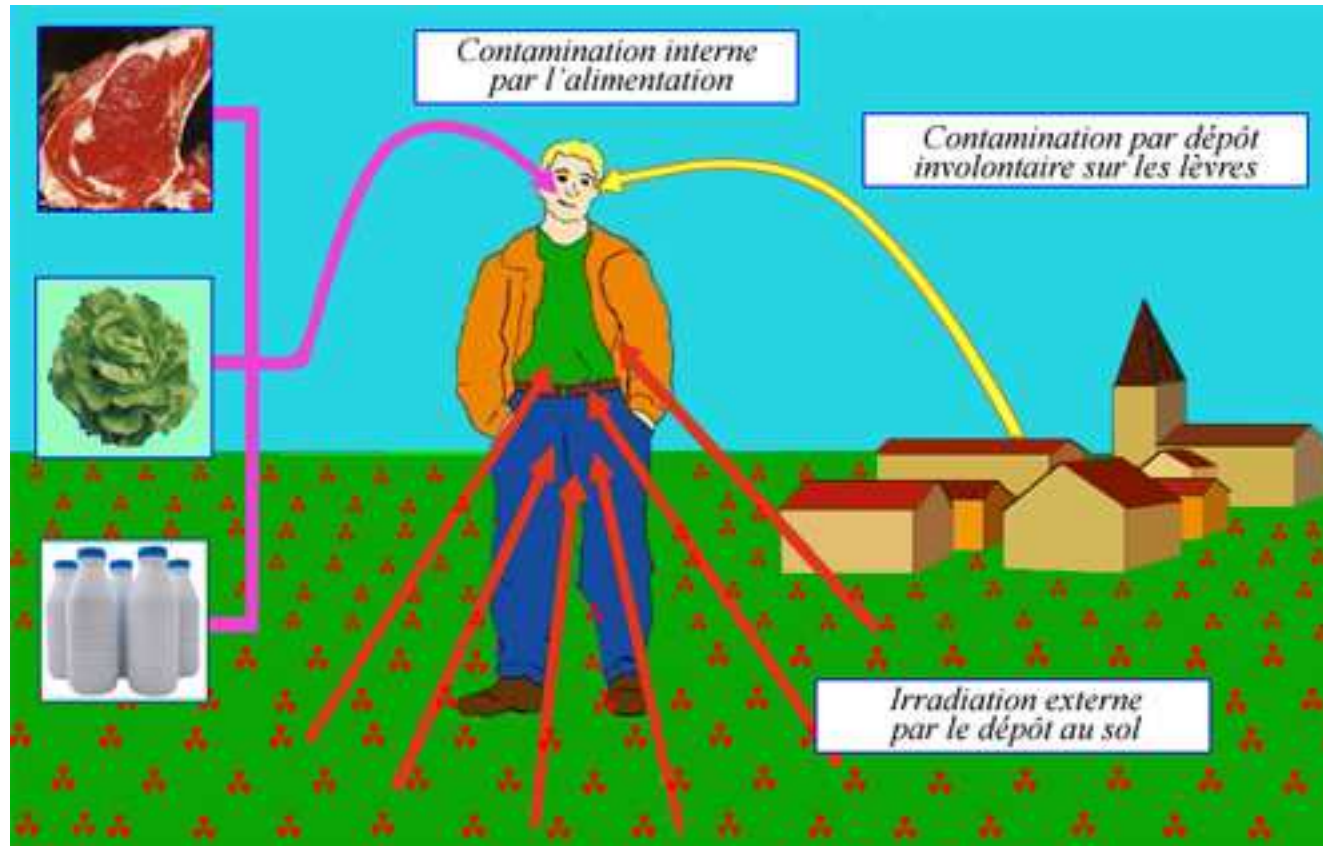


*Exposition surtout externe et de courte durée.
Rejets de plus en plus mineurs après le 16 mars*

Les volatils sont partis

Les autorités ont mis à l'abri les populations avant les rejets

Expositions aux dépôts au sol



Exposition durable
Risque principal : ingestion d'aliments contaminés

Echelle de doses

L'unité usuelle de dose est le millisievert (mSv) : elle s'applique généralement au « corps entier ».

Radioactivité naturelle

1 à 13 mSv/an

Moyenne mondiale **2,4 mSv/an**

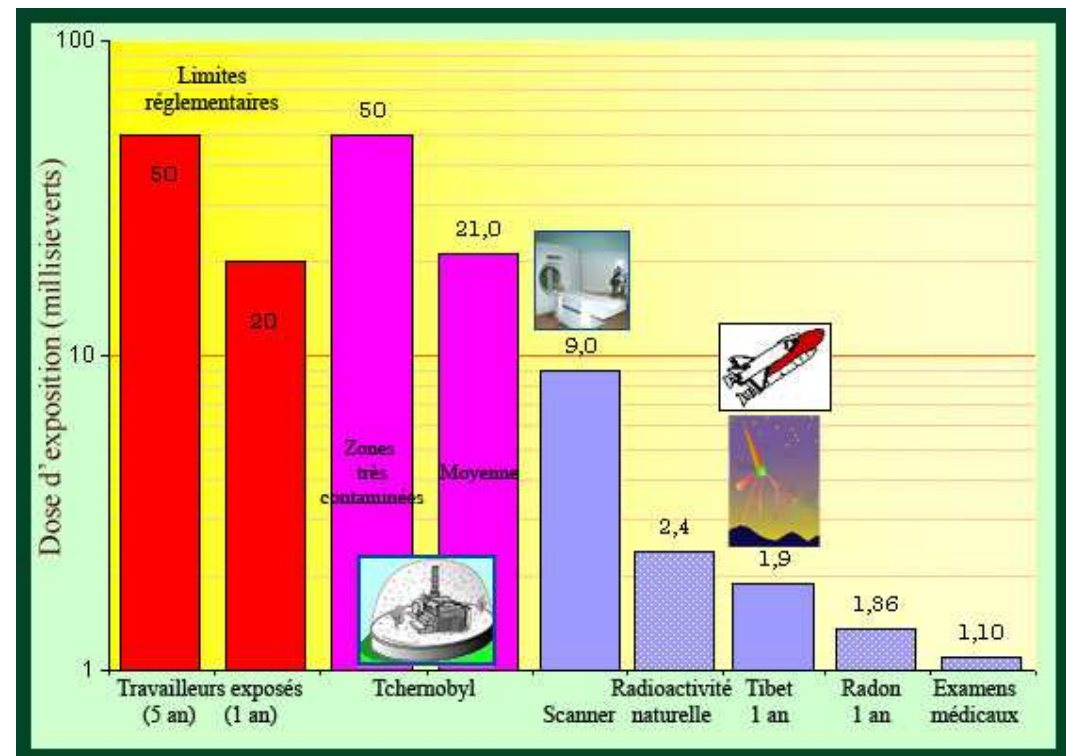
Diagnostics médicaux

0 à plusieurs dizaines mSv/an

Moyenne mondiale 0,6 mSv/an

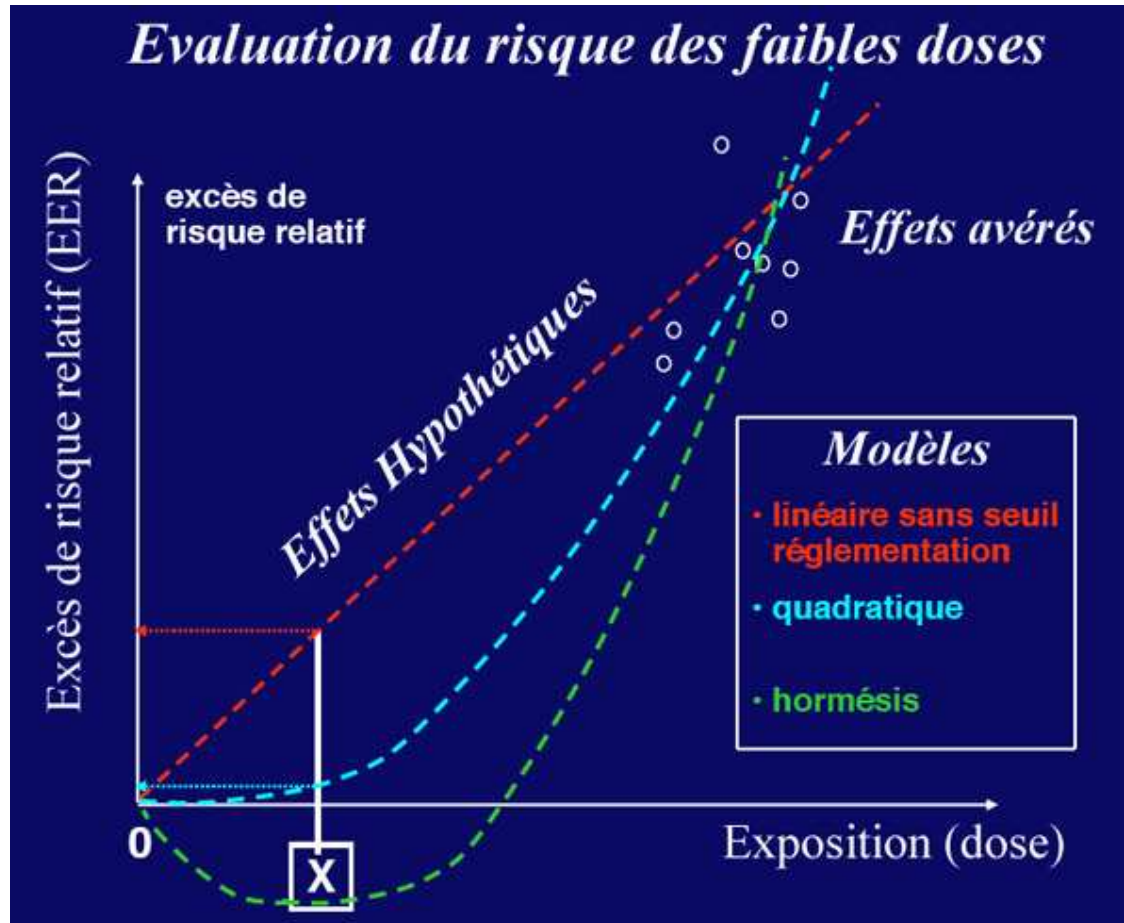
Domaine faibles doses

0 - 100 mSv



Limite légale très prudente : 1 mSv/an (hors naturel & médical)

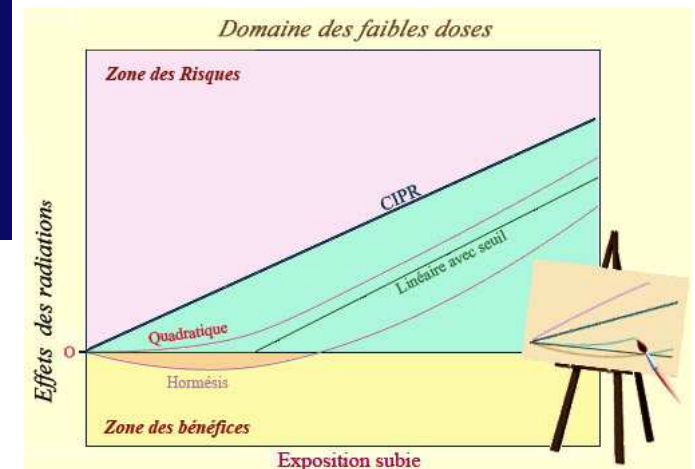
Relation doses-cancers



Pas de données pour le domaine des faibles doses

Règle CIPR
Probabilité cancer
= 5% x dose / 1 Sv

Au bon cœur de l'artiste



Mesures de prévention

Décontamination d'une cour d'école

Contrôle des personnes



Décontamination si contrôle positif



Le dépôt de césium-137 et 134 se fait selon une fine couche en surface. On raclera le sol

Limite à respecter : 1 mSv/an
(Au Japon 5 mSv/an médical !)

Le pays avec le plus de centaines

Contrôle des aliments

Les radioéléments comme l'iode-131 et le césium-137 se déposent sur l'herbe et les feuilles. On surveillera produits laitiers, salades, épinards, thé, viandes et œufs, pousses de bambou, champignons, poissons...

Dans une zone polluée, on donnera aux vaches du foin non contaminé.



19 mars 2011 : Etable de la préfecture de Fukushima

Les autorités sanitaires japonaises ont effectué de très nombreux contrôles. Il est périodiquement fait état de dépassements, mais les limites étant strictes il ne faut pas paniquer si le dépassement est modeste.

Exemple d'un kg de riz à 500 Bq/kg cité en octobre 2011
Dose légale 100 Bq/kg. Facteur de dose du césium 0.014 mSv/kBq
Dose = 0,014 * 0,5 = 0,007 mSv , environ 1 jour de rad. Naturelle !

Fukushima est-il un second Tchernobyl ?

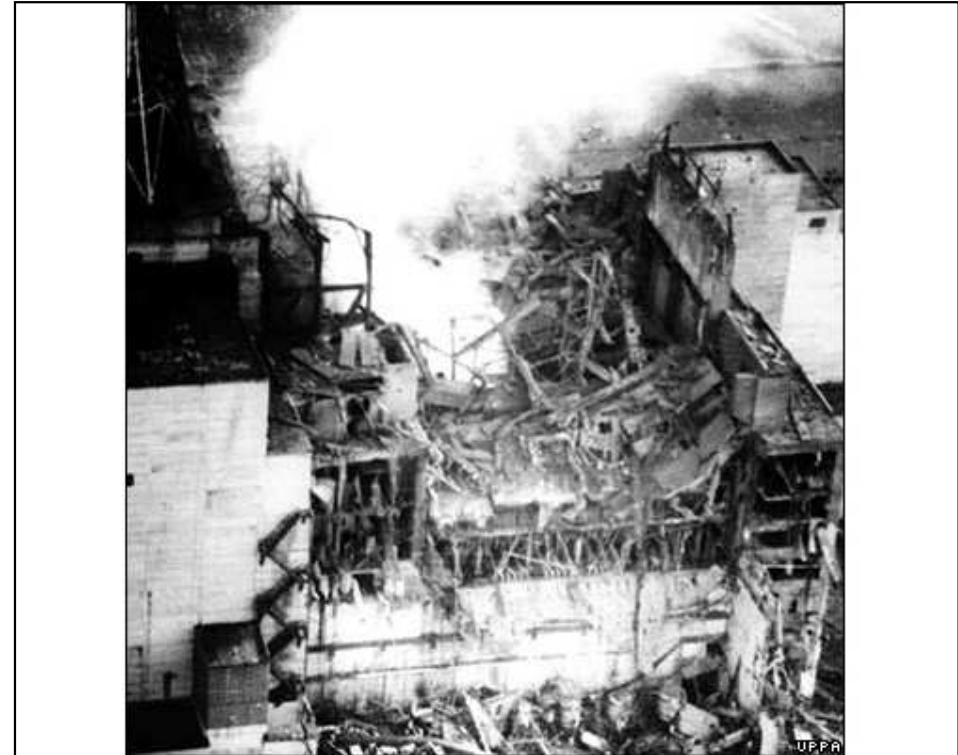
Incendie à Tchernobyl

Tchernobyl

- pas d'enceinte de confinement
- le réacteur n'était pas arrêté
- barres de contrôle passives
- instabilité à certains régimes
- violent incendie

Fukushima

- niveau de construction trop bas
- digues insuffisantes
- groupes électrogènes inondables
- sous-estimation des séismes
- sous-estimation des raz-de-marée



Réacteur à nu

*A Fukushima, seuls les radioéléments volatils sont partis.
Les cœurs fondus sont restés dans les enceintes*

Fukushima et Tchernobyl (effets aigus)

Tchernobyl : liquidateurs

- 237 Syndrome Aigu des Rayonnements
- 134 hospitalisés, 28 décès en qq semaines
- 33 décès supplémentaires depuis 1986
- 4,6 % de cancers dans ce groupe en 2008...



Fukushima : intervenants

Peu de données sur les effectifs (250 + 600 ?)

- limite de dose établie à 250 mSv
- 29 doses > 100 mSv
- 3 doses > 170 mSv
- aucune dose > 250 mSv



Pas de symptômes aigus de radiations ni de brûlures radiologiques

Fukushima et le raz de marée

20 000 morts et disparus

L'Europe, obsédée par ses peurs, met au premier plan la catastrophe nucléaire



Conséquences économiques :

Il faudra des années pour démanteler la centrale. La perte de 4 696 MW de puissance électrique pouvant fournir en électricité environ 5 millions de Japonais doit être comparée aux dévastations bien plus grandes du tsunami et aux 20000 vies perdues.

Rebondir, aller de l'avant sont des qualités japonaises

Quelles leçons et quels remèdes ?

« Faisons d'une mauvaise fortune une bonne fortune ».
Tirer les leçons de l'accident pour qu'il ne se reproduise pas. .

Premiers constats (ASN)

11 mars : tout s'est joué dans les premières heures

- 2 agressions quasi-simultanées : séisme + tsunami
- Perte totale des alimentations électriques (pilotage impossible des réacteurs)

11 au 15 mars : Pilotage à l'aveuglette

- Perte totale de refroidissement
 - Fusion précoce des cœurs de réacteurs
 - Décompression concertées : Rejets gazeux radioactifs
 - Explosions d'hydrogène
- Perte de la métrologie (instruments de mesure)
 - *Dans le noir au propre et au figuré*
 - Pas d'information fiable
 - Dosimétrie électronique défaillante

Premiers constats : Après le 15 mars (suite)

- **Manque de source froide de secours**
 - Injection massive d'eau d'eau de mer
 - Risques de criticité et de bouchage, corrosion par le sel
- **Rétablissement d'une alimentation électrique**
 - Prises en mer défaillantes
 - Risques de court circuit
 - Radioactivité très élevée (difficulté d'intervention)
 - Gestion des liquidateurs en situation précaire
- **Absence de circuit fermé de refroidissement**
 - Poursuite des rejets dans l'environnement : air, terre, mer
 - Gestion de 100.000 tonnes d'eau très radioactive
- **Lent retour à la reprise du contrôle**
 - Installation d'une station de décontamination
 - Restauration d'un refroidissement en circuit fermé
- **Le retour à une situation maîtrisée prendra des mois, une année ...**

Approche pessimiste : Regard négatif

Nouvel accident majeur

- Le troisième après Tchernobyl et Three Mile Island

La sûreté nucléaire est un leurre

- Accident survenu au Japon, malgré sa haute technologie

Le nucléaire fait peur.

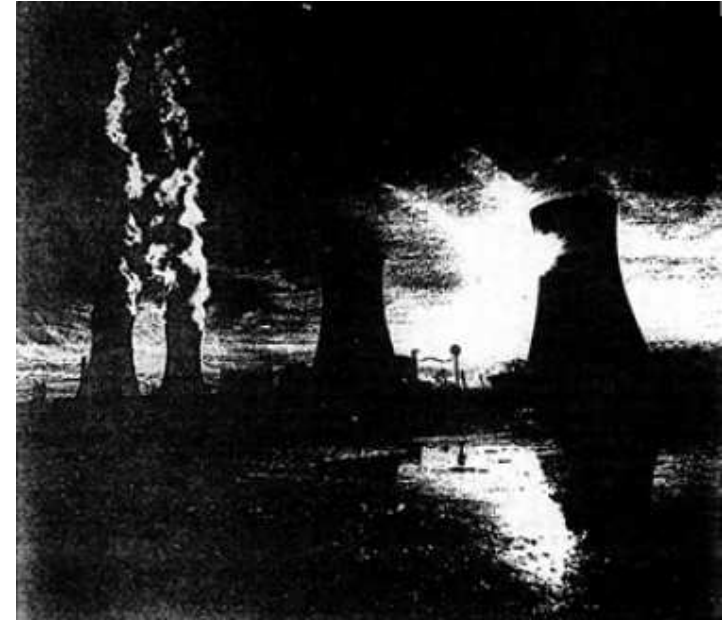
- Les centrales ne sont pas sûres

Risques sanitaires

- Zone d'évacuations ; Contamination durable des sols
- Combien de cancers à venir ?
- Peur d'aliments contaminés

Sortir du nucléaire : slogan racoleur

- Agendas politiques
- Peur de perdre des élections (Allemagne)
- Le vent médiatique souffle fort



La radioactivité : réincarnation moderne de la peste ?

'Nous devons accueillir une personne de nationalité japonaise au mois d'avril. Celle-ci réside dans la ville d'Hamamatsu préfecture de Shizuoka (300 km en dessous de Tokyo).

Nous souhaitons simplement savoir, ayant des enfants en bas âge, si une possible contamination de cette personne peut présenter un risque pour notre famille ?'

Approche optimiste : Regard positif

Accident jugulé malgré le baptême du feu d'un cataclysme majeur et un « pilotage à l'aveuglette »

- N'a pas tué contrairement aux 20000 morts du Tsunami
- Les leçons tirées de TMI et Tchernobyl ont limité les conséquences
- Les enceintes ont limité la gravité de l'accident ;
- Tout est resté à l'intérieur sauf les volatils
- Les autorités ont mis à l'abri à temps les populations
- Les conséquences sanitaires seront sans doute limitées

· Ne pas paniquer d'une manière excessive

- L'Europe n'est pas le Japon
- Pas de tsunami depuis au moins la guerre des Gaules
- La sûreté sera améliorée grâce au retour d'expérience

Le nucléaire a des des qualités

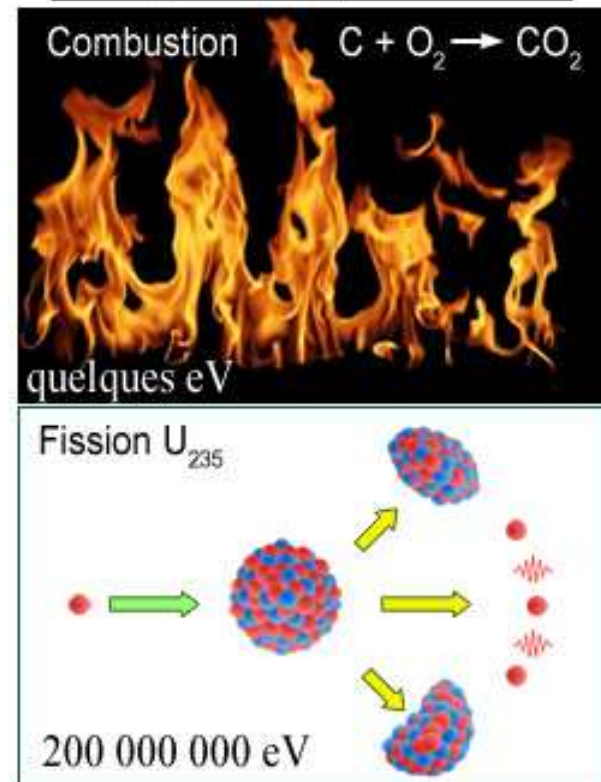
- Une énergie concentrée : 200 000 000 eV/fission
- Fournit de gros bataillons de kWh sans CO2.
- Difficile à remplacer
- Pas d'aléas (vent, nuit, ensoleillement)

... mais il ne peut pas être mis entre toutes les mains

Ne pas jeter trop vite le bébé avec l'eau du bain

Einstein et $E = Mc^2$

Energies atomiques libérées



Même rapport pour solaire et éolien

Quel avenir ?

Le nucléaire mis en question:

- Interrogations sur le futur
- La question se pose au Japon exposé au séismes mais pauvre en énergie
- En Europe sortir du nucléaire coûtera cher et signifie plus de CO² (Charybde et Sylla)

Leçons à tirer pour la sûreté :

- L'Homme est intelligent et sait tirer des leçons de ses malheurs
- Réévaluer les risques de tsunami
- Emplacement des centrales, risques sismiques et sources d'eau froide
- Prévoir la concomitance de pannes (électrique, diesels)
- Assurer l'indépendance et les pouvoirs de les Autorités de sûreté

Accidents multiples:

- Tous découlent de l'arrêt du refroidissement

L'impact médiatique, politique et psychologique a été majeur