

+ Accidents majeurs : rejets et + • ° voies d'exposition sur l'humain • °

Session 1

Quand l'accident survient

Coralie PINEAU - ANCCLI

Qu'est-ce qu'un accident nucléaire majeur ?

- Un accident ayant un impact sur :
 - La **santé de la population**
 - La qualité de l'environnement
 - La continuité de la vie sociale et économique
 - La qualité des relations internationales

Qu'est-ce qu'un accident nucléaire majeur ?

Niveau 7 : accident majeur

- Tchernobyl, 1986
- Fukushima, 2011

Niveau 6 : accident grave

Niveau 5 : accident

Niveau 4 : accident

Niveau 3 : incident grave

Niveau 2 : incident

Niveau 1 : anomalie

Niveau 0 : écart

Rejets à l'atmosphère

- Transport des radioéléments volatiles
- Délais d'atteinte de la population plus courts et dépendant des conditions météorologiques

Rejets liquides

- Transport par les cours d'eau, mers et océans
- Délais d'atteinte de la population plus longs et nécessite des restrictions d'usage

Deux voies principales de rejets

Les rejets de Tchernobyl et de Fukushima

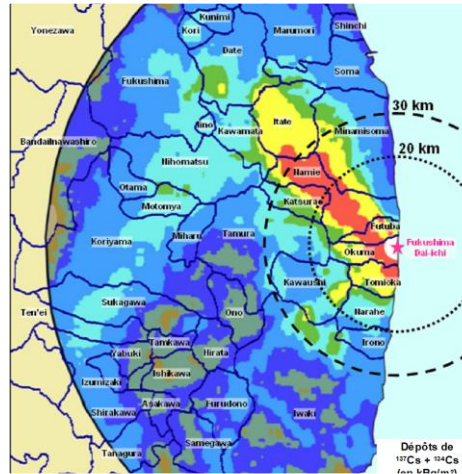
- Tchernobyl : des rejets continus sur 10 jours
- Fukushima : des rejets discontinus sur 13 jours

Activités rejetées dans l'atmosphère		
Catégorie de radionucléides	Fukushima (UNSCEAR 2013)	Tchernobyl (IAEA 2005)
Gaz rares	$7,3 \cdot 10^{+18}$ Bq	$6,5 \cdot 10^{+18}$ Bq
Iodes	$1,6 \cdot 10^{+17}$ Bq (^{131}I $1 \cdot 10^{+17}$ à $5 \cdot 10^{+17}$)	$4,3 \cdot 10^{+18}$ Bq
Césiums	$1,9 \cdot 10^{+16}$ Bq (^{137}Cs : $0,6 \cdot 10^{+16}$ à $2 \cdot 10^{+16}$)	$1,7 \cdot 10^{+17}$ Bq
Tellures	$3 \cdot 10^{+17}$ Bq	$1,4 \cdot 10^{+18}$ Bq
Autres (strontiums plutoniums...)	$< 1 \cdot 10^{+9}$ Bq pour Pu	$1,3 \cdot 10^{+18}$ Bq

Activités parvenues en mer (rejets liquides + dépôts atmosphériques)	
Catégorie de radionucléides	Fukushima (UNSCEAR 2013)
Iode 131	$7 \cdot 10^{+16}$ à $1 \cdot 10^{+17}$ Bq
Césium 137	$1 \cdot 10^{+16}$ à $4 \cdot 10^{+16}$ Bq

iode 131 ($T_{1/2} = 8$ j),
 césium 137 ($T_{1/2} = 30$ ans),
 césium 134 ($T_{1/2} = 2,1$ ans)

Tchernobyl et Fukushima : quelles influences pour quels dépôts ?



Fukushima

La plupart des bouffées d'air contaminées partent vers le Pacifique, excepté dans la nuit du 15 au 16 mars 2011 (formation de la trace Nord-Ouest) et autour les 21-22 mars

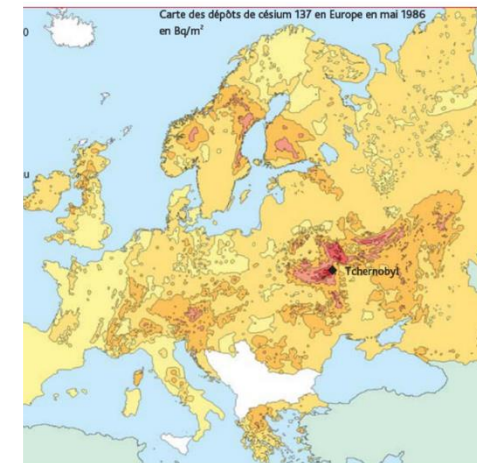
La pluie, lors du passage des masses d'air contaminée sur les terres, forme des dépôts hétérogènes

Tchernobyl

Les retombées se font sur les terres de toute l'Europe pour les radionucléides les plus volatiles

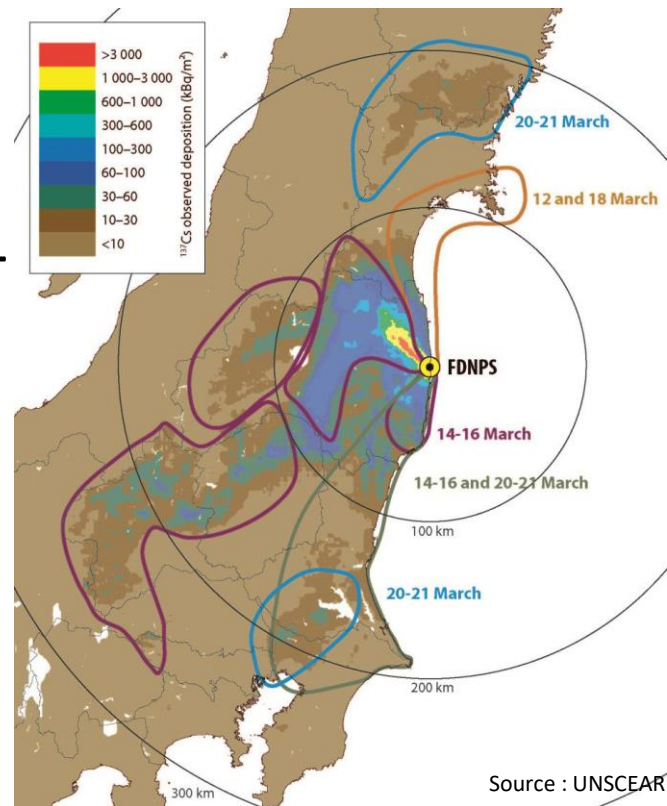
La pluie, lors du passage des masses d'air contaminée sur les terres, forme des dépôts hétérogènes

Des dépôts importants de plusieurs radionucléides (quelle que soit leur volatilité) liés à l'explosion dans un rayon de quelques dizaines de km autour du site

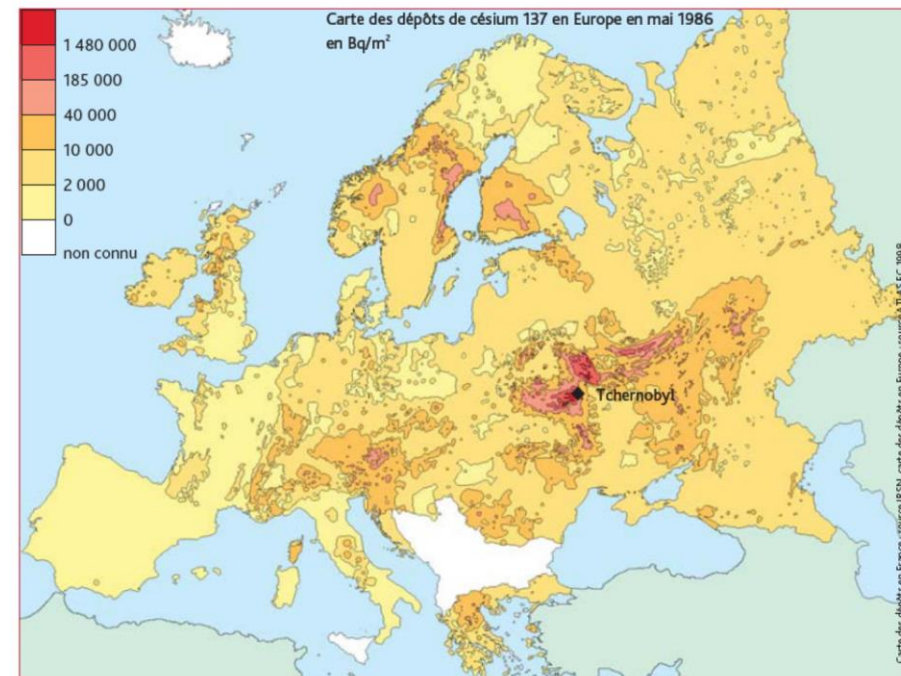


Comparaison des dépôts de césium 137

Japon, mars 2011



Europe, mai 1986



Les principales sources de contamination radioactive

L'IODE 131

Contamination à court terme lors de rejets dans l'atmosphère. **Élément très volatil et donc très mobile :**

Ingestion par l'animal et puis consommation éventuelle par l'homme.



LE CÉSIUM 137

Principale source de contamination de la chaîne alimentaire. **Peu mobile, il s'enfonce lentement dans le sol, où il est fixé par les minéraux.**



Dispersion dans l'atmosphère.



Dépôt au sol ou sur les feuilles de végétaux.



Champignons et gibier très contaminés.



Captation par les racines.



Forte concentration dans la chair des poissons.



Les éléments radioactifs dans l'atmosphère **retombent naturellement** ou sont **concentrés par la pluie** : contamination des cours d'eau puis des nappes phréatiques à plus long terme.



Contamination par les feuilles, puis les racines.



Ingéré par les vaches, l'iode se retrouve dans le lait en quelques heures.

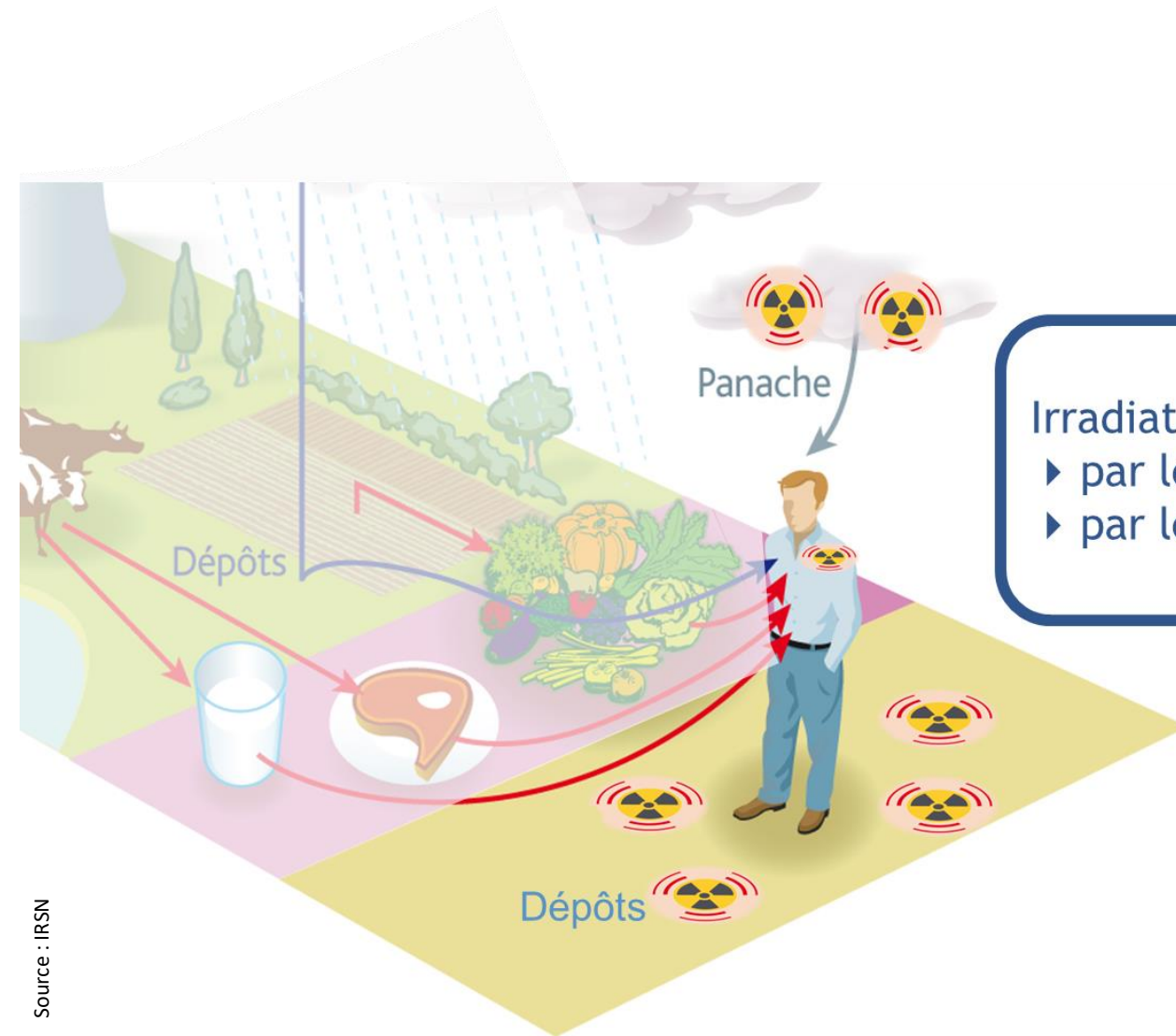
Source : IRSN

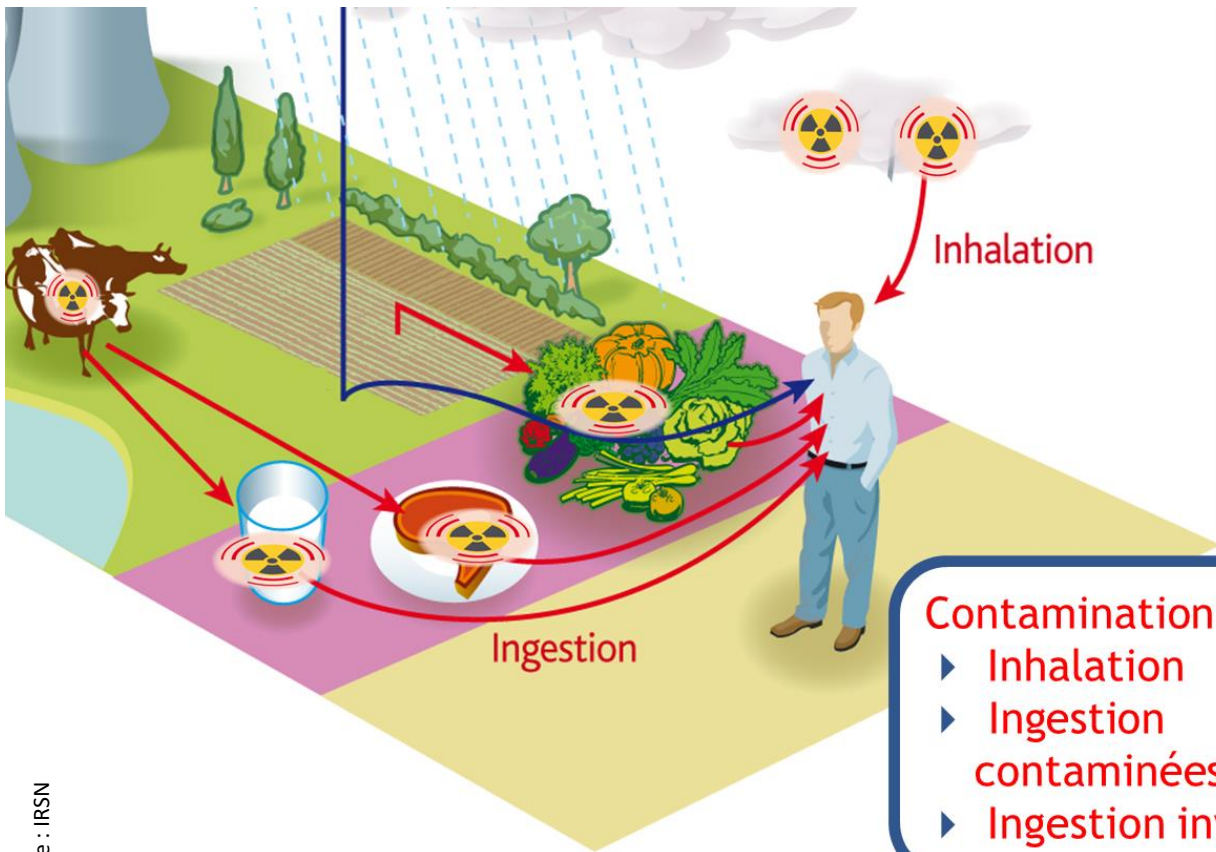
Transfert dans l'environnement

Zoom sur l'iode 131 et le césium 137

Principales voies d'atteinte de l'Homme

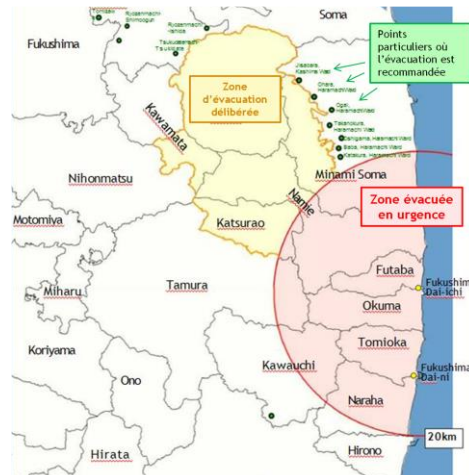
- Irradiation externe
- ▶ par les dépôts
 - ▶ par le panache





Principales voies d'atteinte de l'Homme

Tchernobyl et Fukushima : évacuation et mise à l'abri



Fukushima

11 mars : évacuation 2 km, puis à 3 km

12 mars : évacuation à 10 km puis à 20 km à 18h30 (et mise à l'abri entre 20 et 30 km)

15 mars à 23h30 : 78 200 personnes ont été évacuées

Entre avril et juin : évacuation des communes d'Itate et de Katsurao, d'une partie des communes de Kawamata, de Minamisoma et du reste de Namie

Tchernobyl

Évacuation dans un rayon de 30 km à partir du 27 avril 1986 : 120 000 personnes évacuées entre le 27 avril et septembre 1986

Évacuation progressive des populations vivant dans les zones les plus contaminées au cours de 1986 et des années suivantes



La contamination des denrées agricoles

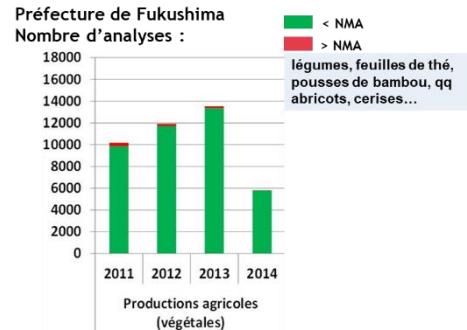
Les productions agricoles les plus contaminées après un dépôt radioactif accidentel sont celles qui sont en cours de culture et dont la récolte est imminente (quelques jours à quelques semaines suivant le type de production).

Transfert des feuilles vers le fruit, le grain, la racine... : interception des dépôts par les feuilles et stade de développement minimum (à partir de la floraison) pour un transfert des feuilles vers la partie consommée.
Seule une petite partie est transférée des feuilles vers les autres parties consommées (<10%).

Les légumes dont on consomme les feuilles (salades, épinards, poireaux...) en cours de production au moment des dépôts sont les denrées agricoles les plus contaminées.

La contamination des produits de l'élevage est directement liée à celle de leur nourriture.

Tchernobyl et Fukushima : contamination des denrées agricoles



Fukushima

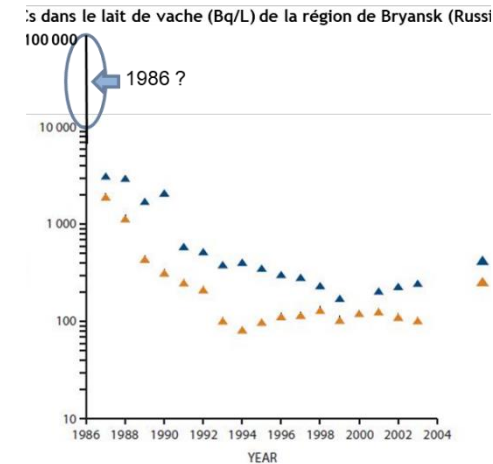
En mars 2011, les légumes-feuilles, sont de loin les denrées les plus sensibles aux retombées radioactives de l'accident de Fukushima

Le bétail étant nourri avec du fourrage importé, la viande et le lait sont faiblement contaminés

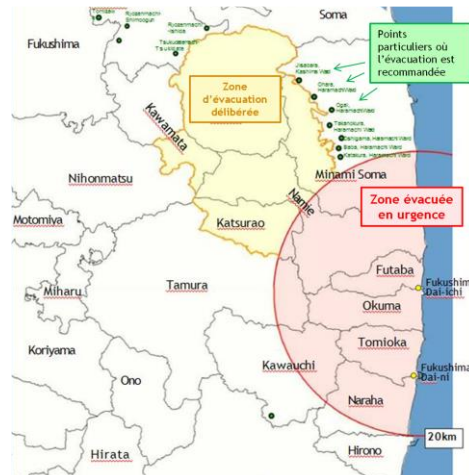
Tchernobyl

La date de l'accident a été un facteur déterminant de la contamination des productions agricoles

Les niveaux de contamination probablement extrêmement élevés du lait et de la viande



Tchernobyl et Fukushima : la chasse et la cueillette



Fukushima

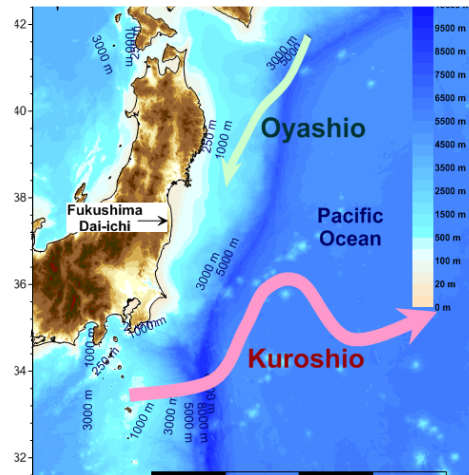
Au Japon : des activités de césium 137 encore très élevées, dépassant largement la NMA dans les gibiers (sangliers, ours noirs, cervidés, gibiers d'eau) (source : UNSCEAR 2020)

Tchernobyl

Dans les zones les plus touchées (hors zone d'exclusion) les activités peuvent encore dépasser 1000, voire 10000 Bq/kg frais, dans les champignons



Tchernobyl et Fukushima : et le milieu aquatique ?



Fukushima

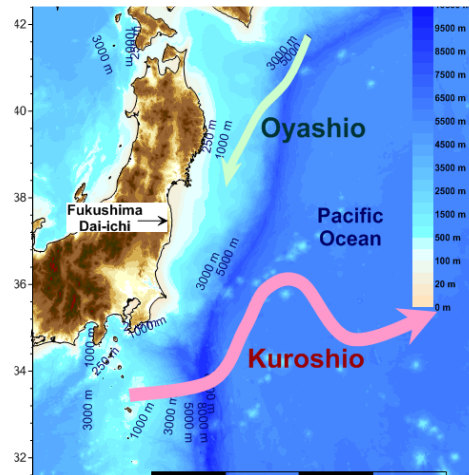
Fuite provenant d'une tranchée stoppée seulement le 6 avril
Les dépôts atmosphériques radioactifs à la surface de la mer

Remise en suspension du césium fixé sur les sédiments

Drainage des bassins versants contaminés

Fuites persistantes provenant des installations et de l'environnement immédiat du site

Tchernobyl et Fukushima : et le milieu aquatique ?



Fukushima

Les poissons vivant à proximité des sédiments présentent des niveaux plus élevés que les poissons vivant dans la colonne d'eau.

Depuis le mois de septembre 2015, les concentrations en césium sont inférieures à la limite de commercialisation de 100 Bq/kg frais. (source : UNSCEAR 2020)

L'estimation des doses de la population générale

Tchernobyl (UNSCEAR 2006)

- ❑ **Population évacuée de la zone d'exclusion**
 - ❑ Inhalation essentiellement, irradiation externe (ingestion)
 - ❑ Doses de 0,1 à 380 mSv
 - ❑ Doses à la thyroïde de 0,07 à 4,3 Gy (moyenne par classe d'âge)
- ❑ **Population de la zone de contrôle strict (≥ 555 KBq/m²)**
 - ❑ Inhalation, irradiation externe, ingestion
 - ❑ Dose moyenne de 50 mSv
 - ❑ Doses à la thyroïde de 0 à 2 Gy
- ❑ **Population des territoire contaminés**
 - ❑ → \approx 5 millions de personnes dans 3 pays (Ukraine, Biélorussie, Russie)
 - ❑ Inhalation, irradiation externe
 - ❑ Dose moyenne de 10 à 20 mSv
 - ❑ Dose à la thyroïde de 0 à 50 mGy

Fukushima

- ❑ Les doses à la thyroïde les plus élevées concernent les enfants de 1 an
 - ❑ jusqu'à 83 mGy pour les évacués tardifs et 52 mGy pour les non évacués (UNSCEAR 2013)
 - ❑ Jusqu'à 30 mGy pour les évacués tardifs et 21 mGy pour les non évacués (UNSCEAR 2020)
- ❑ D'après les estimations de doses externes (*report of Fukushima Health Management Survey – 2019*)
 - ❑ 94 % des résidents de la Préfecture de Fukushima ont reçu une dose inférieure à 2 mSv
 - ❑ 60 % des résidents de la Préfecture de Fukushima ont reçu une dose inférieure à 1 mSv
- ❑ La contribution de l'inhalation est prédominante pour les personnes évacuées
- ❑ La contribution de l'ingestion est nettement prédominante pour les personnes non évacuées
- ❑ Les doses sont plus élevées pour la 2^e vague de personnes évacuées

L'estimation des doses des intervenants

Tchernobyl (UNSCEAR 2008 publié en 2011)

- ❑ 600 intervenants d'urgence
 - ❑ 219 intervenants ont reçu plus de 1 Gy
 - ❑ Certains ont reçus jusqu'à 16 Gy
- ❑ 600 000 liquidateurs de 20 à 40 ans venus de toutes les régions d'URSS pour décontaminer 3000 km², construire le sarcophage et réhabiliter l'environnement entre 1986 et 1990
 - ❑ Dose moyenne individuelle : 120 mSv (externe essentiellement) ; incertitudes élevées (85% des valeurs enregistrées entre 20 et 500 mSv) ;
 - ❑ En 1986 : 300 000 travailleurs ukrainiens impliqués sur les opérations les plus difficiles auraient reçu une dose moyenne de 150 mSv alors que les autres auraient reçu une dose de l'ordre de 10 mSv
 - ❑ Doses limitées par les durées d'intervention : 6 mois max

Fukushima (UNSCEAR 2020)

- ❑ Plus de 30 000 travailleurs impliqués pour les opérations d'urgence (~ 85% d'entreprises extérieures à TEPCO)
- ❑ **Des conditions d'intervention extrêmement difficiles en mars 2011** : obscurité, chaleur, opérations difficiles dans des installations accidentées, manque de nourriture, inconfort total pour dormir ; de nombreux malaises conduisant à des doses supplémentaires
- ❑ **Insuffisance des moyens de radioprotection**
- ❑ **A partir d'avril, amélioration progressive** : dosimétrie individuelle pour chaque travailleur, tenues de protection réfrigérées, durée de travail en zone limitée à 2 heures/jour, cartographie des différentes zones radiologiques tenue à jour, recours à des moyens robotisés, création d'une zone « radiologiquement propre » dans la centrale pour permettre aux travailleurs de se reposer, mesures prophylactiques (iode stable)
- ❑ **168 travailleurs ont reçu une dose supérieure à 100 mSv**

+

• ○

Merci de votre attention

+

• ○

Session 1

Quand l'accident survient

Coralie PINEAU - ANCCLI