

Radioactivité de/dans l'environnement



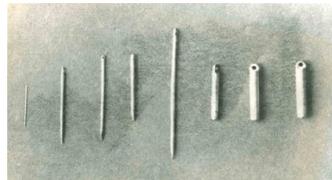
SÉMINAIRE LPC DU 02/03/2018

Au menu :

1. Quelle radioactivité dans l'environnement
2. Les études d'impact et d'effet sur l'Homme et l'environnement
3. Conclusion sur les limites et les enjeux pour la recherche dans l'environnement

Eléments de contexte

- Naturellement présente depuis toujours partout sur terre
- Accompagne la vie depuis son apparition
- Phénomène découvert par l'homme à la fin du XIX^{ème} siècle
- Des applications développées tout au long du XX^{ème} siècle à usage
 - Médical,
 - Militaire,
 - Industriel,
 - « engouement populaire »



- Parée de toutes les vertus dans les premières décennies suivant sa découverte, ses effets délétères possibles suscitent aujourd'hui de nombreuses controverses

La radioactivité dans l'environnement



Naturelle d'origine tellurique

^{40}K ,
 ^{238}U ,
 ^{235}U ,
 ^{232}Th
+desc.



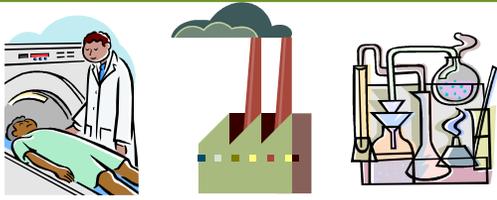
Naturelle d'origine tellurique « renforcée »

^{238}U ,
 ^{235}U ,
 ^{232}Th
et / ou desc.



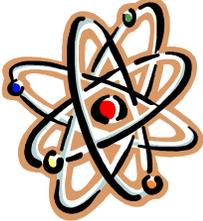
Naturelle d'origine cosmogénique

^7Be ,
 ^{14}C ,
 ^3H



Recherche, Industrie, Médecine

^{131}I , ^3H , ^{14}C , $^{99\text{m}}\text{Tc}$...



Industries du nucléaire

^3H , ^{14}C , ^{137}Cs , ^{131}I , ^{58}Co ...



Essais aériens et accidents

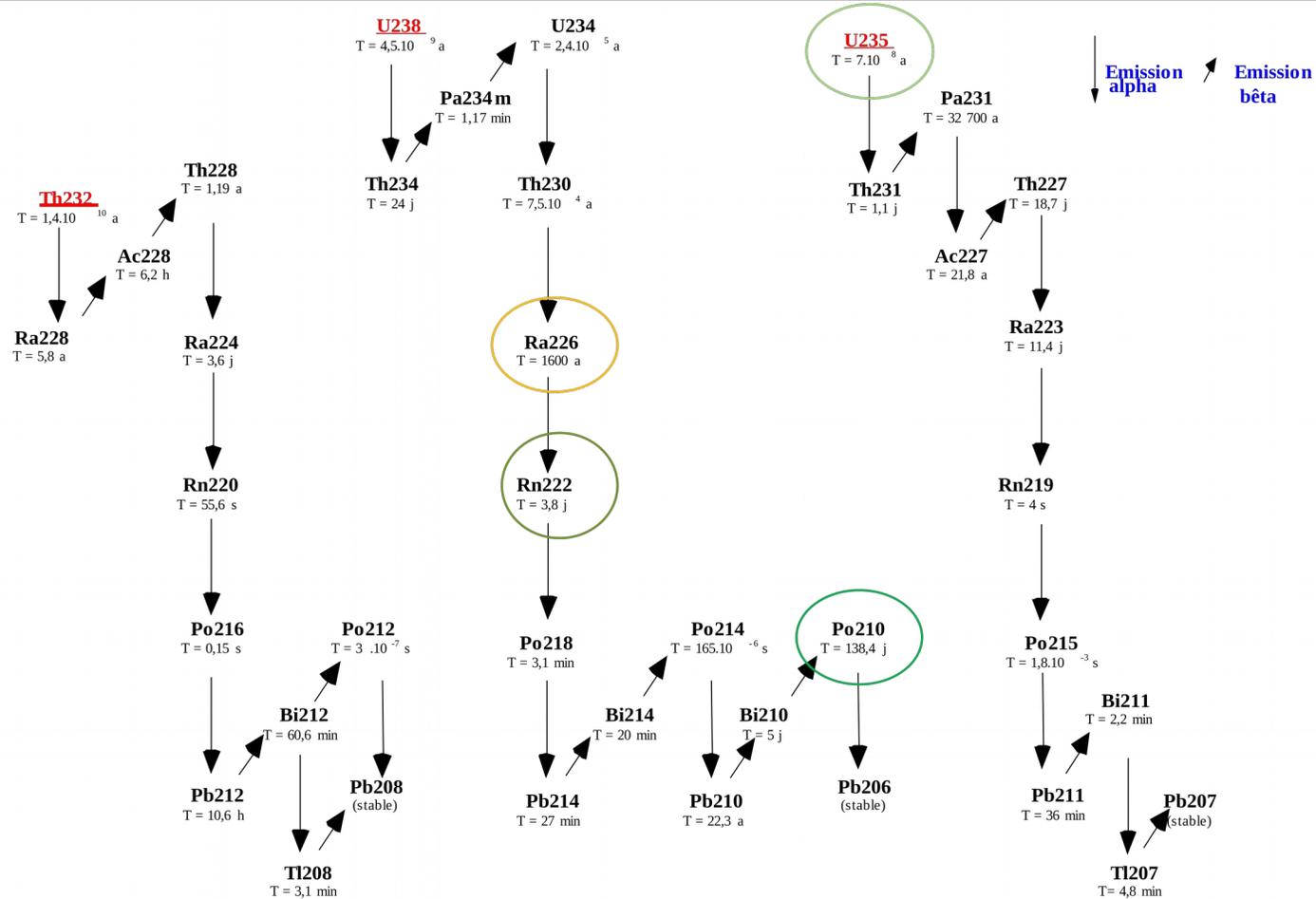
^3H , ^{14}C , ^{137}Cs , ^{90}Sr ,...



=> Sources multiples

=> Radionucléides communs

Radionucléides telluriques



	^{40}K , ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th +desc.
Naturelle d'origine tellurique	

Radionucléides cosmogéniques

^7Be

- Période : 53,2 jours

^3H

- Période : 12,3 ans
- 70 000 TBq/an naturellement produit (soit $\approx 200\text{g}$)

^{14}C

- Période : 5700 ans
- 1 400 TBq produits naturellement par an (soit $\approx 8,5\text{kg}$)



Naturelle d'origine
cosmogénique

^7Be ,
 ^{14}C ,
 ^3H ,

Quelques valeurs de référence

Constituants	Radioactivité d'origine naturelle
Briques Bétons Plâtres	600 à 1000 Bq.kg ⁻¹ (⁴⁰ K), 10 à 100 Bq.kg ⁻¹ (²³² Th, ²²⁶ Ra) 200 à 700 Bq.kg ⁻¹ (⁴⁰ K), 20 à 300 Bq.kg ⁻¹ (²²⁶ Ra), 20 à 100 Bq.kg ⁻¹ (²³² Th) 20 à 100 Bq.kg ⁻¹ (⁴⁰ K), 10 à 1000 Bq.kg ⁻¹ (²²⁶ Ra), 6 à 60 Bq.kg ⁻¹ (²³² Th)
Engrais	50 à 5000 Bq.kg ⁻¹ (⁴⁰ K), 10 à 500 Bq.kg ⁻¹ (²²⁶ Ra), 500 à 1000 Bq.kg ⁻¹ (²³⁸ U)
Corps humain (70kg)	≈ 4400 Bq (⁴⁰ K), ≈ 3700 Bq (¹⁴ C), ≈ 450 Bq (⁸⁷ Rb), ≈ 40 Bq (³ H)
Eaux minérales (France) Eau de mer	4,4 à 930 mBq.L ⁻¹ (²³⁸ U), 7 à 700 mBq.L ⁻¹ (²²⁶ Ra) ≈ 13 Bq.L ⁻¹ (⁴⁰ K)
Aliments : Lait Pomme de terre Poissons Blé	50 à 80 Bq.L ⁻¹ (⁴⁰ K) 150 Bq.kg ⁻¹ (⁴⁰ K) 100 Bq.kg ⁻¹ (⁴⁰ K) 140 Bq.kg ⁻¹ (⁴⁰ K)

L'action de l'Homme sur la radioactivité de l'environnement

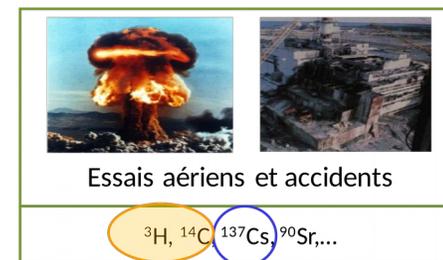
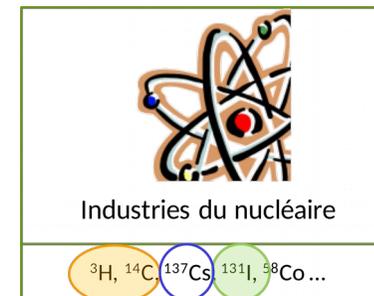
Radioactivité naturelle « renforcée »

- Résultat d'un processus industriel conduisant à une concentration de la radioactivité naturelle
 - Résidus du traitement du minerai d'uranium
 - Résidus d'extraction des terres rares
 - Dispositifs de filtration/traitement d'eau,...



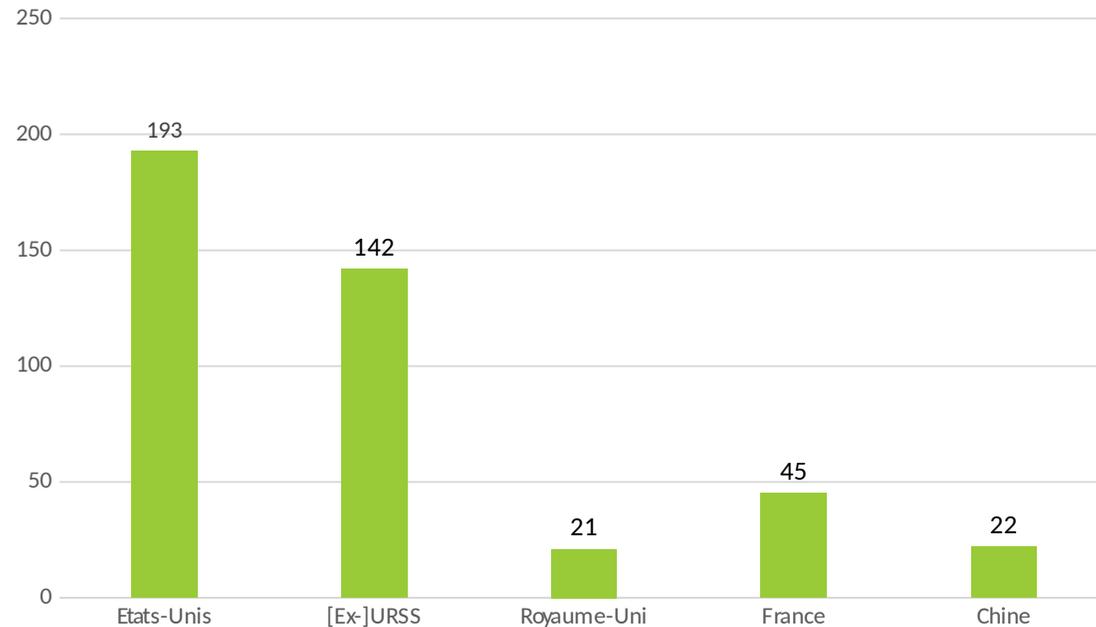
Radioactivité artificielle

- Issue du développement du nucléaire depuis le début du 20^{ème} siècle
- Elle est associées aux :
 - Rejets des installations nucléaires (réacteurs, usine de retraitement,...)
 - Domaine médical, recherche et industriel
 - Essais nucléaires aériens
 - Conséquences des grands accidents tels que Maïak, Tchernobyl, Fukushima



Les essais nucléaires aériens

NOMBRES D'ESSAIS AERIENS D'ARMES NUCLEAIRES



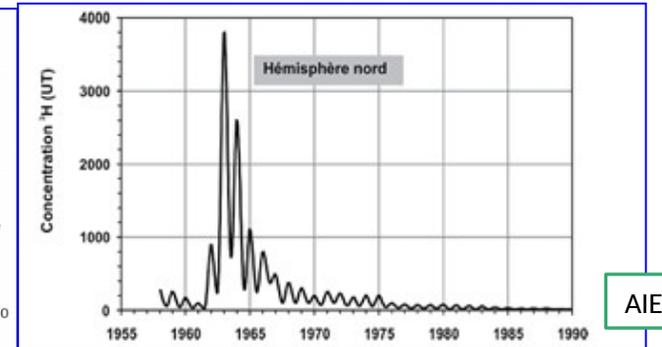
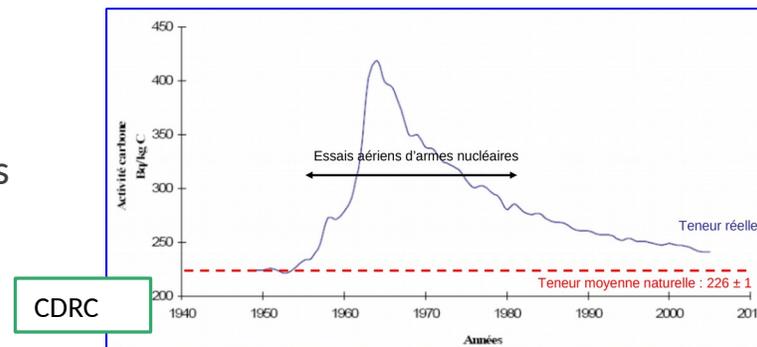
Source UNSCEAR

RN	activité relâchée PBq (1950-1960)
Tritium	240 000
Carbone 14	220
Strontium 89	91 400
Strontium 90	604
Iode 131	651 000
Césium 137	912
Plutonium 239	7

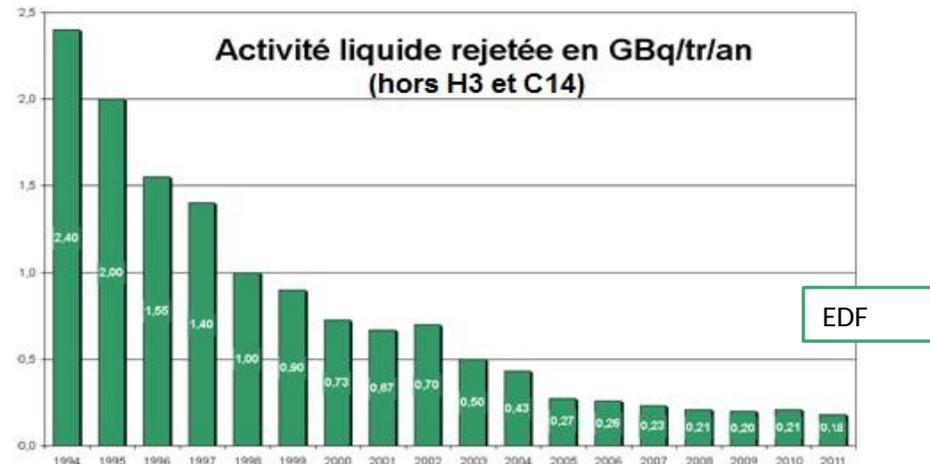
Une diminution des contributions liées à l'homme

Diminution de l'héritage du passé

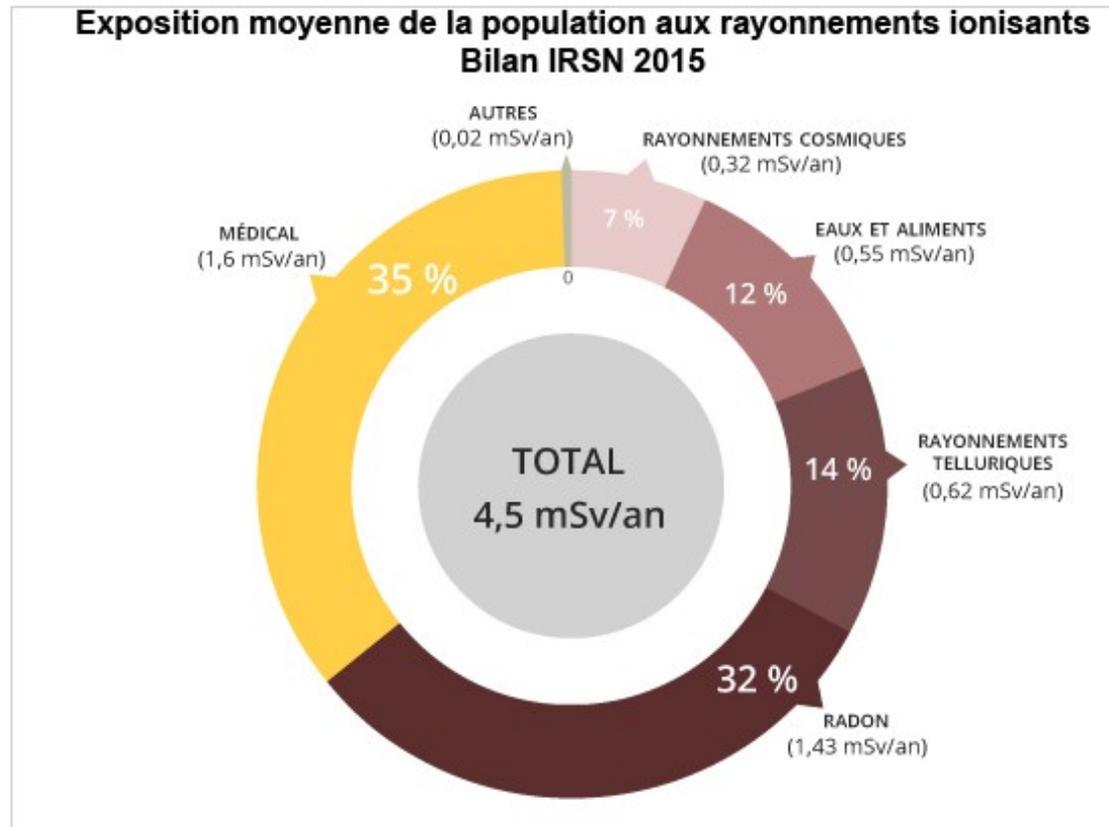
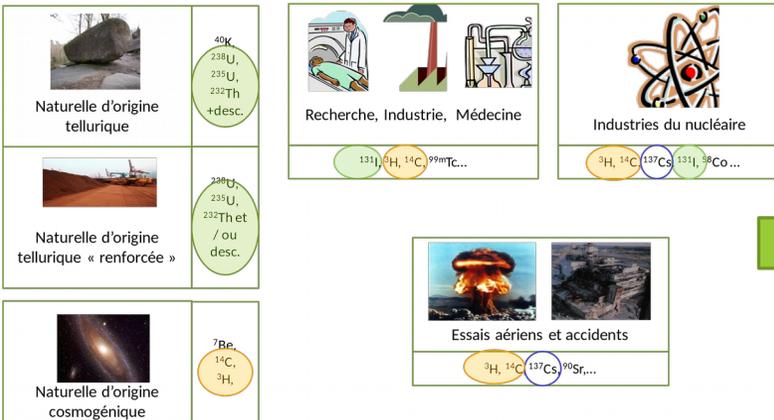
- Arrêt des essais aériens d'armes nucléaires
- Décroissance radioactive et redistribution des radionucléides



Réduction des PF/PA (hors H3/C14) dans les rejets liquides des CNPE



Exposition de l'homme



Répartition des doses efficaces annuelles moyennes par habitant en 2015 (IRSN)

Etudes d'impact (d'effet, de sensibilité)

CAS DES INSTALLATIONS

Principes généraux

Objectif : apprécier les effets des rejets sur l'homme et son environnement en fonctionnement normal tel que présenté dans la demande d'autorisation.

La prise en compte de l'environnement dans les évaluations d'impact est très récente :

- Positions de la CIPR

- 1977 : « Si l'Homme est convenablement protégé alors, par conséquent, tous les autres êtres vivants le sont suffisamment »
- 2007 : La publication 103 recommande explicitement la considération de la protection radiologique de l'environnement

- La nouvelle directive 2013/59 Euratom prévoit la protection de l'environnement en vue de la protection de la santé humaine à long terme.

Les expositions prises en compte

Les rejets gazeux :

- Dispersion atmosphérique
- Spectre type et activités rejetées
- Effets :
 - Irradiation liée au panache et aux dépôts sur les plantes et sol
 - Inhalation
 - Ingestion (Intégration du cycle global bio/géophysique)

PARAMÈTRES (Chinon B) (*)	Activité (en GBq/an)
Tritium	80 000
Carbone 14	260
Iodes	0,4
Autres PF/PA bêta ou gamma	36

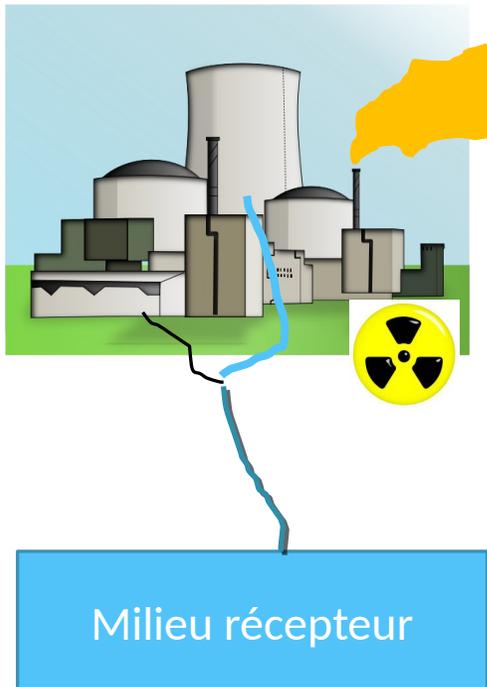
Les rejets liquides :

- Dilution par l'eau des tours aéroréfrigérantes puis par le milieu récepteur
- Spectre type et activités rejetées
- Effets :
 - Exposition liée au contact à l'eau/plages
 - Ingestion (Eau et part intégrée à la chaîne trophique)

PARAMÈTRES (Chinon B) (*)	activité (en GBq/an)
Carbone 14	2 200
Tritium	8 000
Gaz rares	48 000
Iodes	1,2
Autres PF/PA bêta ou gamma	0,3

L'irradiation liée à l'installation proprement dite

(*) Arrêté de rejet CNPE de Chinon B

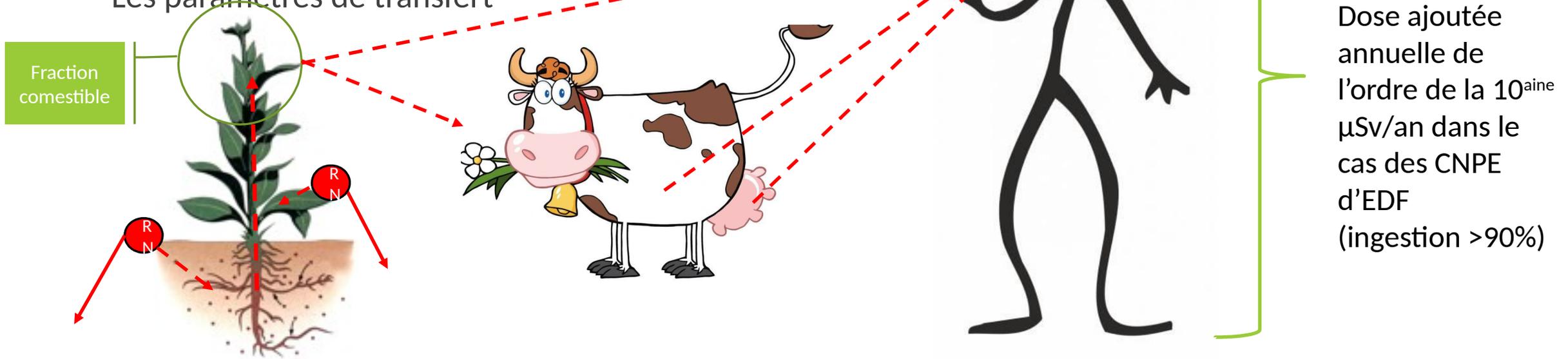


Méthodologie

- Utiliser des modèles numériques pour déterminer les doses prévisibles à l'Homme et à l'environnement
- Les données intermédiaires relatives aux dispersions
 - Coefficients de Transfert Atmosphérique (CTA) calculés au niveau des points d'intérêt (lieu d'habitation, type d'habitat ou d'écosystème,...)
 - Facteurs de dilution des effluents liquides (eau de refroidissement, milieu récepteur)

L'homme

- Les données d'entrée propres à l'homme
 - Groupe de référence,
 - Les tranches d'âge considérées et les coefficients de dose associés,
 - Les scénarii d'exposition et les données statistiques
- Les paramètres de transfert



L'environnement

- Préoccupation nouvelle

- ⇒ Nécessité de développer de nouveaux outils en cours de déploiement à l'échelle française

- ⇒ Inspirés du domaine de la chimie

- ⇒ Démarche progressive de moins en moins conservative

- Détermination d'un seuil sans effet prédictible



Une démarche à l'échelle européenne pour développer l'outil ERICA (Environmental Risk from Ionising Contaminants: Assessment and management) dans le cadre des 6 et 7^{ème} PCRD (15 organismes de 7 pays différents)

L'environnement

- Une évaluation graduée de moins en moins conservatrice et de plus en plus site spécifique
- Des espèces génériques considérées comme représentatives des milieux récepteurs

Terrestrial

Soil Invertebrate (worm)
Detritivorous invertebrate
Flying insects
Gastropod
Lichen & bryophytes
Grasses & Herbs
Shrub
Tree
Mammal
Bird
Bird egg
Reptile
Amphibian

Marine

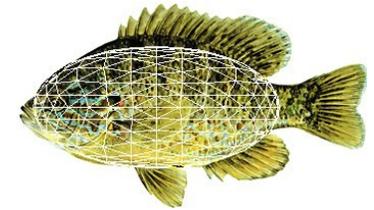
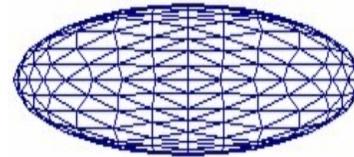
Phytoplankton
Macroalgae
Vascular plant
Zooplankton
Polychaete worm
Bivalve mollusc
Crustacean
Benthic fish
Pelagic fish
(Wading) bird
Mammal
Reptile
Sea anemones/true corals

Freshwater

Phytoplankton
Insect larvae
Vascular plant
Zooplankton
Gastropod
Bivalve mollusc
Crustacean
Benthic fish
Pelagic fish
Bird
Mammal
Amphibian

L'environnement

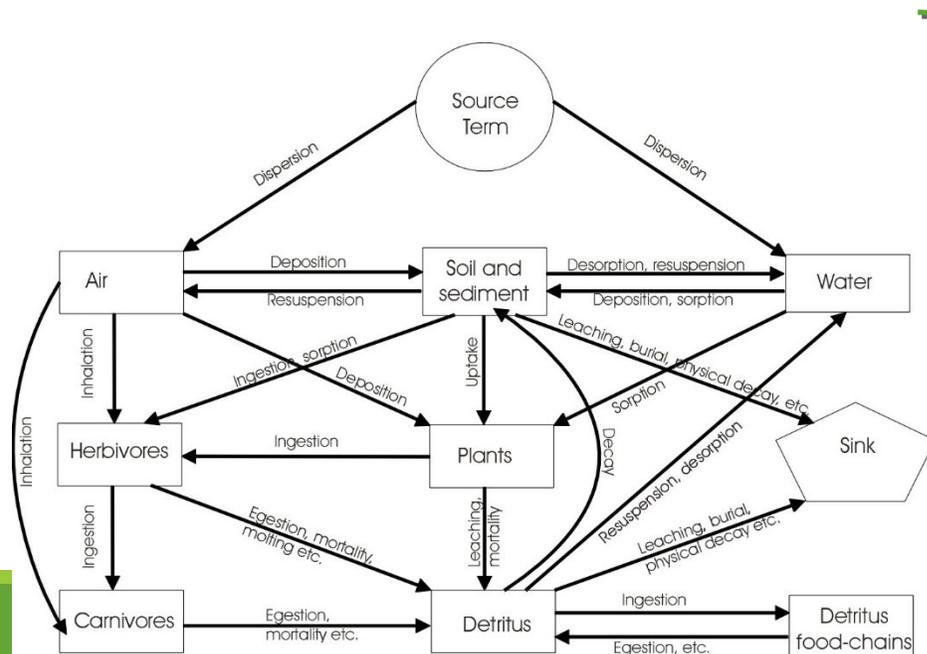
- Modéliser les expositions : des simplifications nécessaires
 - Détermination de la dose externe



CR



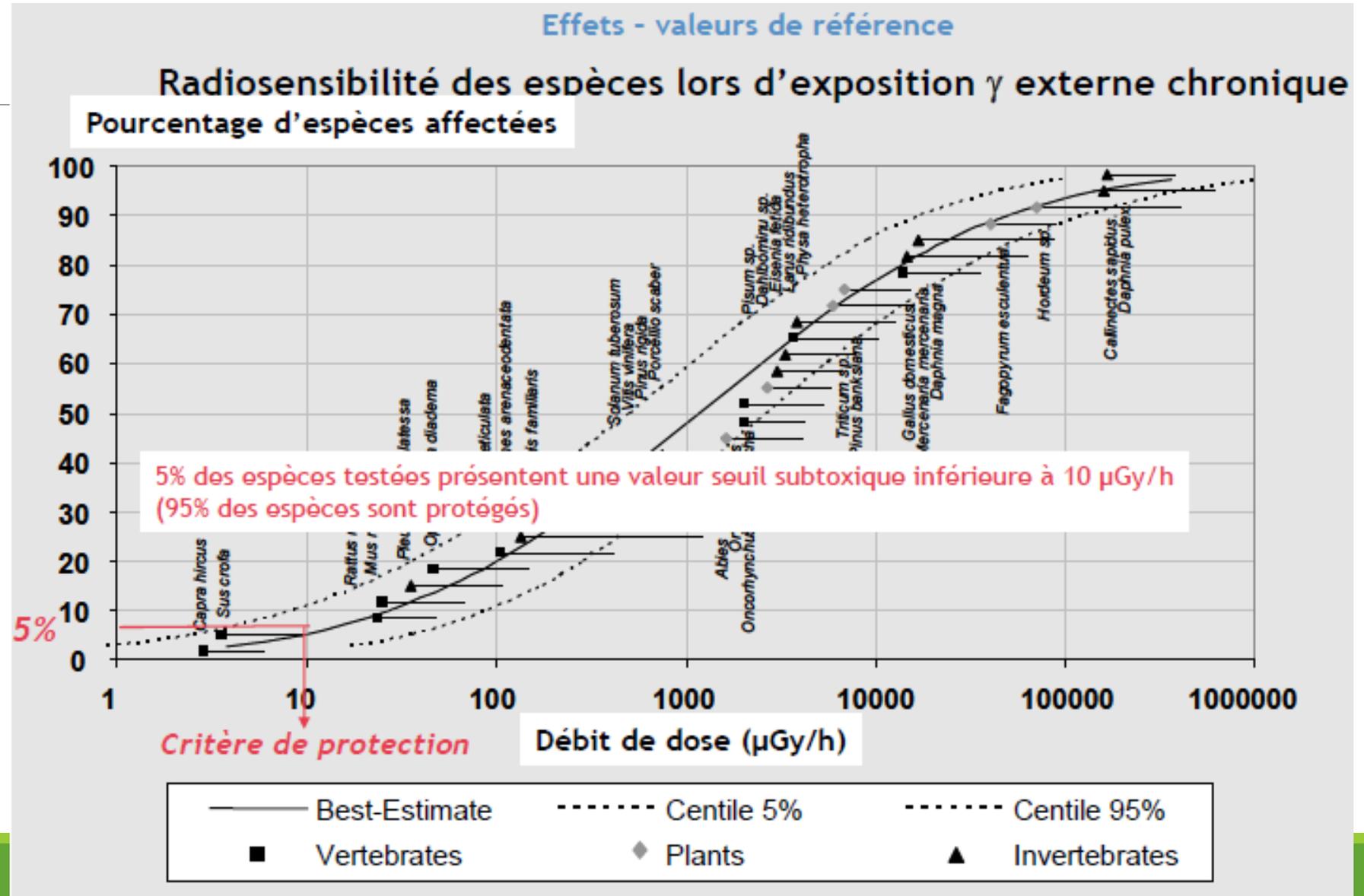
Ingestion



L'environnement



- Seuil
- Valeur usuellement retenue :
10 $\mu\text{Gy/h}$
- Soit environ
90 mGy/an



L'environnement

3 niveaux d'évaluation :

- Niveau 1 : évaluation simplifiée, conservative, qui permet d'écarter avec certitude les situations d'exposition qui n'engendrent aucun risque pour l'environnement. On considère un organisme fictif qui cumulerait pour chaque radionucléide les sensibilités maximale de chaque espèces de références
 - Calcul d'un indice de risque pour chaque $RQ_i = A_i / EMCL_i$ (Environmental Media Concentration Limit)
 - Par sommation on obtient l'indice de risque total qui si il est inférieur à 1 permet de garantir un impact négligeable
- Niveau 2 : On utilise des données génériques, des modèles de transfert des radionucléides plus réalistes et des organismes de référence plus représentatifs. Pour chaque organisme, on calcule un indice de risque global par sommation des indices de risque de chaque organisme associé à la dose induite par les radionucléides considérés ramené au seuil d'innocuité retenu ($10\mu\text{Gy/h}$)
 - $Rq_{org} = DR_{org} / SDR$
 - Si l'indice global de chaque organisme est inférieur à 1 on conclue à l'absence d'impact
- Niveau 3 : cas le plus pénalisant, on détermine toutes les paramètres propres au site et aux organismes pour calculer une dose délivrée affinée qui est ensuite comparée au seuil

1
C
o
n
s
e
r
v
a
t
i
v
e

S
p
e
c
i
f
i
c
i

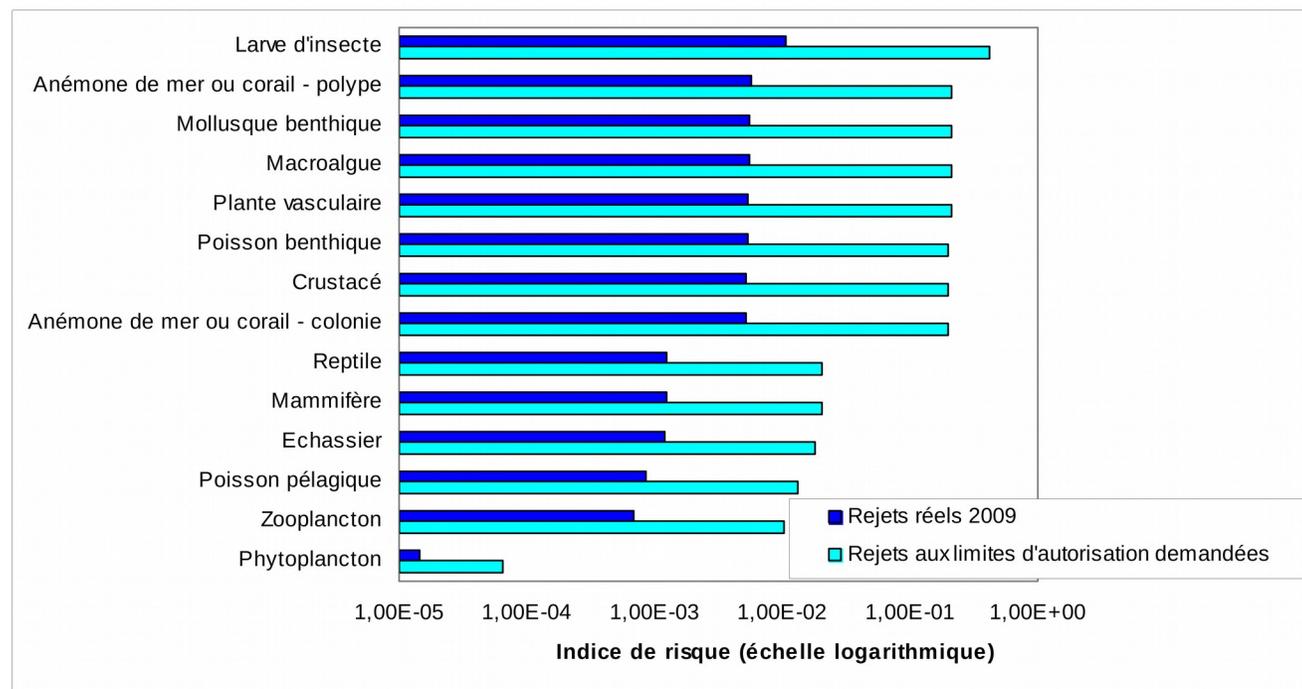
L'environnement

Exemple d'une installation qui rejette ses effluents radioactifs liquides en milieu marin

Niveau 1

Niveau 2

Radionucléides	Rejets aux limites	
	Indice de risque	Organismes de référence
^3H	$6,5 \cdot 10^{-5}$	Phytoplancton
^{14}C	$1,8 \cdot 10^{-2}$	Echassier, Reptile
^{131}I	$4,5 \cdot 10^{-6}$	Macroalgue
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	Reptile
^{134}Cs	$4,2 \cdot 10^{-4}$	Larve d'insecte
^{137}Cs	$2,7 \cdot 10^{-4}$	Larve d'insecte
^{58}Co	$7,5 \cdot 10^{-2}$	Larve d'insecte
^{60}Co	$2,7 \cdot 10^{-1}$	Larve d'insecte
^{54}Mn	$5,5 \cdot 10^{-2}$	Larve d'insecte
^{124}Sb	$2,4 \cdot 10^{-4}$	Larve d'insecte
^{125}Sb	$8,9 \cdot 10^{-5}$	Larve d'insecte
^{63}Ni	$1,6 \cdot 10^{-5}$	Mollusque benthique
Σ indices de risque	$4,3 \cdot 10^{-1}$	-



Surveillance de l'environnement

À BUT RÉGLEMENTAIRE

À BUT D'EXPERTISE / RADIOECOLOGIQUE

BECQUEREL le réseau de mesure
de la radioactivité de l'IN2P3/CNRS

La surveillance réglementaire de l'environnement

■ Les caractéristiques

- Rôle de surveillance et d'alerte : démontrer que les conditions d'exploitation satisfont aux exigences réglementaires
- Types, techniques et seuils définis en fonction de l'étude d'impact sanitaire et environnemental
- Fréquence rapprochée et disponibilité rapide des résultats afin d'identifier toute élévation singulière

■ Les acteurs



- L'Autorité de Sûreté Nucléaire (www.asn.fr)
 - Prescrit la nature de la surveillance et s'assure de la mise en œuvre et du respect des objectifs assignés
 - Délivre les agréments aux laboratoires de mesure



- L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (www.irsn.fr)
 - Mesures globales de surveillance du territoire (réseau Téléray, OPERA, HYDROTELERAY...),
 - Organisation des intercomparaisons nécessaires à la délivrance des agréments des laboratoires de mesure de radioactivité

- Les exploitants (responsabilité opérationnelle de la mise en place de la surveillance)

- Les laboratoires agréés par l'ASN

BECQUEREL le réseau de mesure de la radioactivité de l'IN2P3/CNRS

- Le RNM (www.mesure-radioactivite.fr)



La surveillance réglementaire de l'environnement

Souvent :

- Surveillance du vecteur air :
 - Indice de radioactivité bêta global (\cong journalier)
 - Spectrométrie gamma et C14 (mensuel)
 - Tritium (bimensuel)
 - Surveillance en instantané des rejets gazeux
 - Sondes gamma
- Surveillance du vecteur eau
 - Contrôle des effluents avant rejet
 - Surveillance en instantané des rejets liquides
- Surveillance de l'environnement et de chaîne alimentaire
 - Bioindicateurs C14 (mensuel)
 - Culture (\cong annuel)
 - Lait gamma et Sr90 (mensuel)

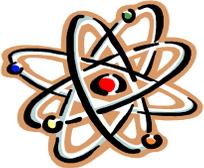


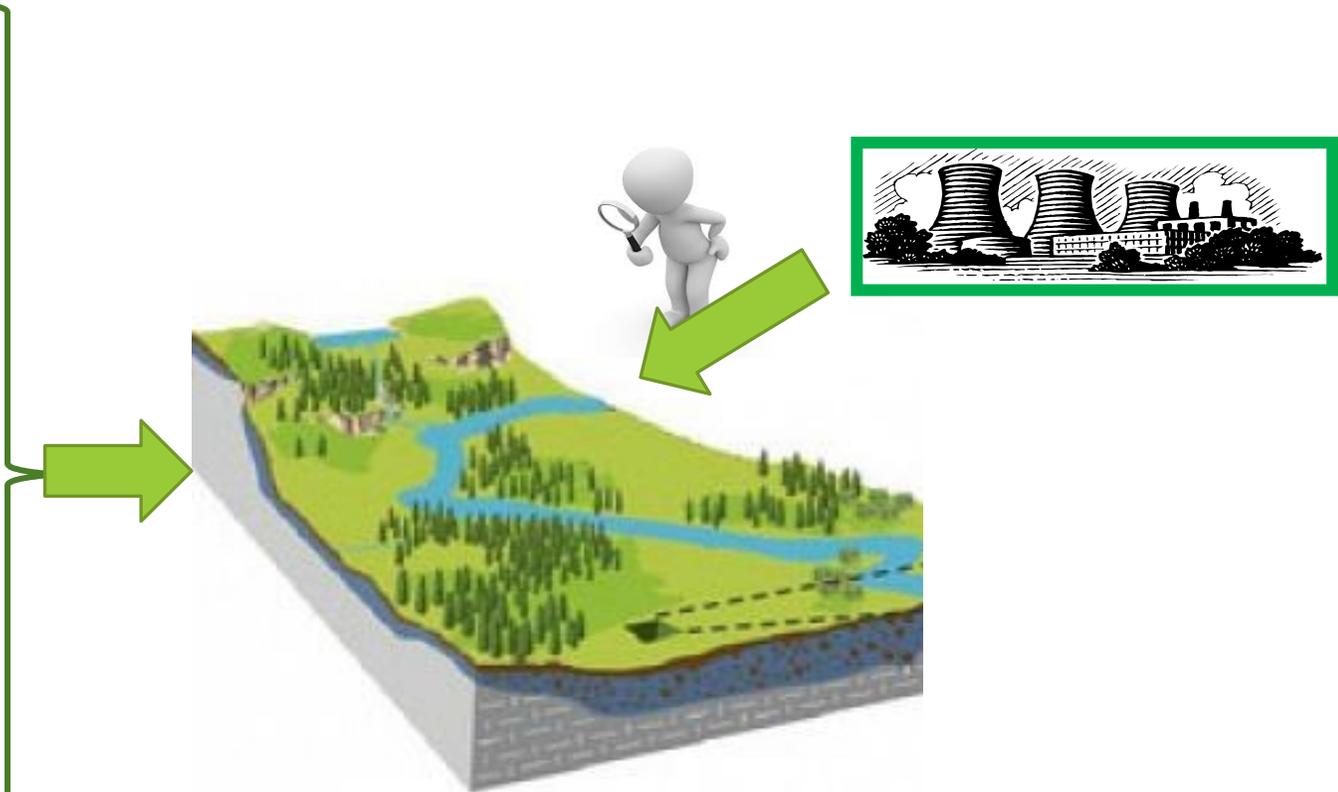
La surveillance radioécologique

Mesures à but d'expertise et d'amélioration des connaissances

- Connaître le contexte radioécologique global de l'installation
- Comprendre sur le long terme le devenir des radionucléides dans la bio/géosphère et conforter les méthodologies d'étude d'impact
- Techniques et seuils déterminés de manière à établir les signatures radiologiques des sources en présence

La surveillance radioécologique

 <p>Naturelle tellurique</p>	<p>^{40}K, Chaîne ^{238}U, ^{235}U, ^{232}Th</p>
 <p>Naturelle renforcée</p>	
 <p>Cosmogénique</p>	<p>^7Be, ^{14}C, ^3H, ...</p>
 <p>Recherche, Industrie, Médecine</p>	
<p>^{131}I, ^3H, ^{14}C, $^{99\text{m}}\text{Tc}$...</p>	
 <p>Essais aériens et accidents</p>	<p>^3H, ^{14}C, ^{137}Cs, ^{90}Sr,...</p>
 <p>Autres industries du nucléaire</p>	<p>^3H, ^{14}C, ^{137}Cs, ^{131}I, ^{58}Co ...</p>
 <p>Autres CNPE</p>	<p>^3H, ^{14}C, ^{137}Cs, ^{131}I, ^{58}Co ...</p>



Méthodologie

- Stratégie de prélèvement et échantillonnage

=> amont/aval hydraulique

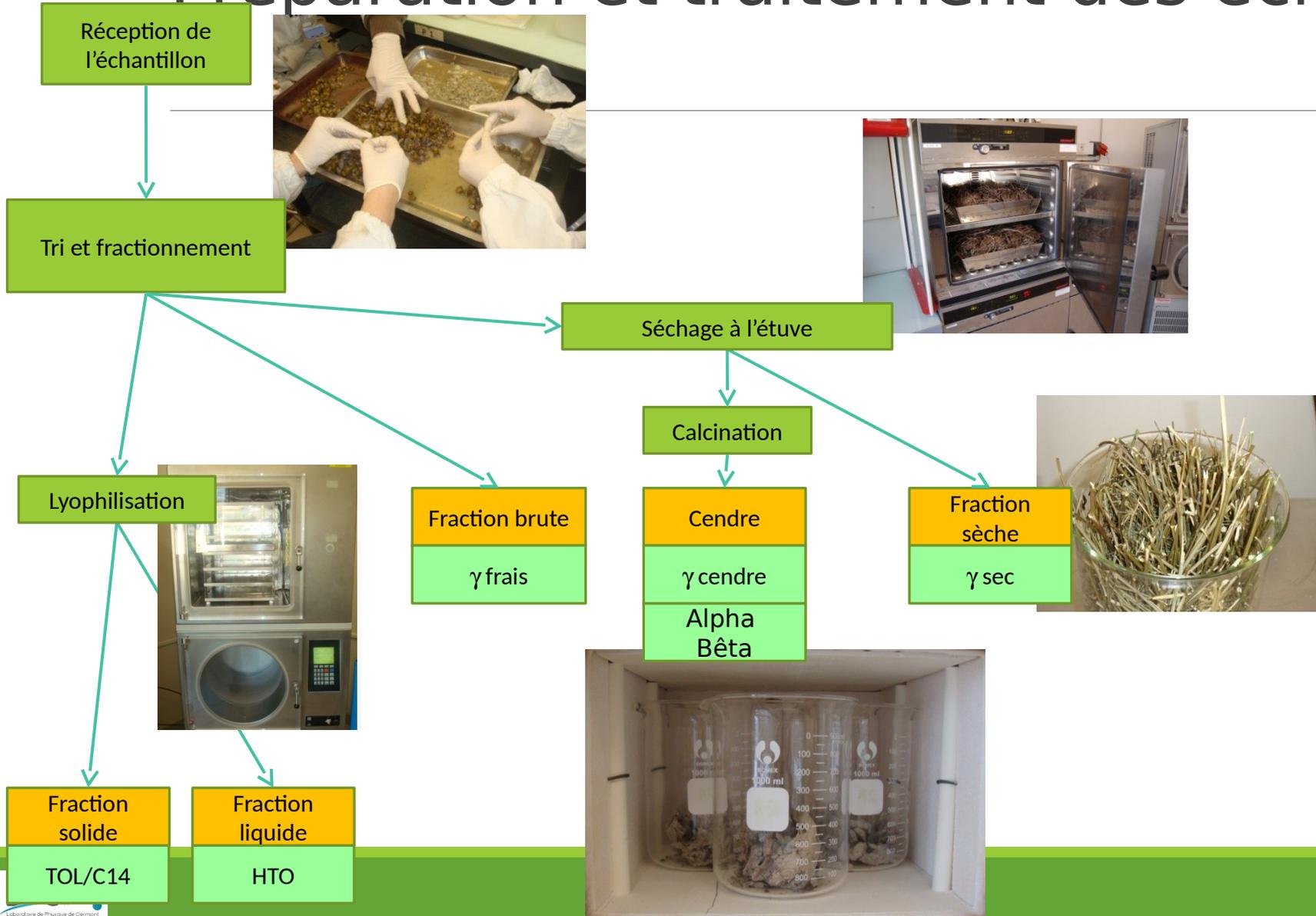
=> vents dominants principaux et secondaires

=> matrices et bioindicateurs pertinents (affinité, représentativité, pérennité spatiale et temporelle)

=> connaissance du comportement des RN dans la bio/géosphère



Préparation et traitement des échantillons



- Obtenir une forme adaptée à la mesure
- Prévenir la perte des radionucléides
- Concentrer afin d'abaisser les seuils de décision

Méthodologie

- Mesure
 - Spectrométrie gamma
 - Spectrométrie alpha
 - Scintillation liquide
 - AMS
 - Spectro de masse

^{137}Cs , ^{60}Co	0,1 Bq/kg sec dans les végétaux
^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am	1 mBq/kg sec dans les sols/sédiments
^{90}Sr	0,1 Bq/kg sec dans les sédiments/végétaux
^{63}Ni , ^{55}Fe	0,5 Bq/kg sec dans les sédiments
Tritium	1 Bq/l
Carbone 14	Incertitude de qq %



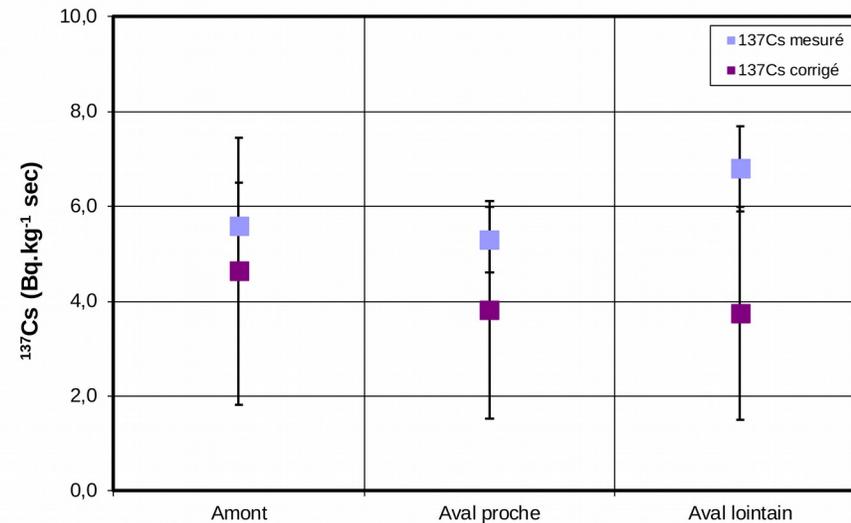
Bas seuil et
précision

Précision



L'interprétation : quelques focus

Cas du césium 137

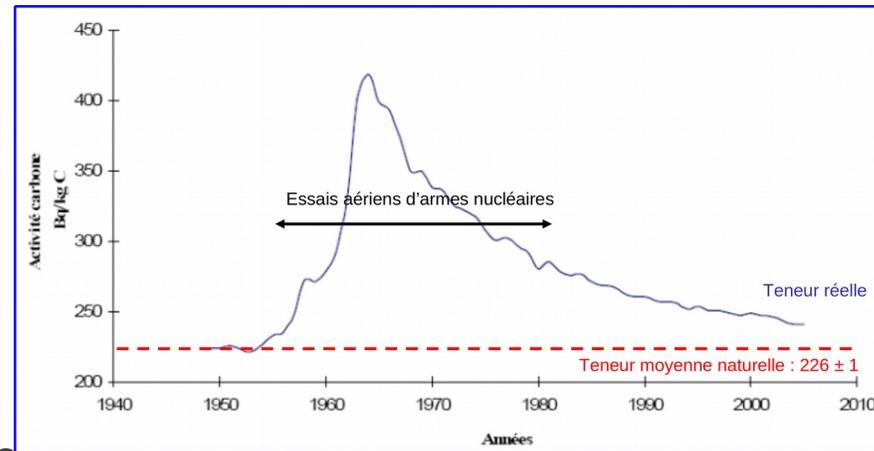


Cas des actinides

rappports isotopiques	Essai aérien	Retraitement
$^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$	0,03-0,08	>1
$^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$	0,4-0,5	>1

L'interprétation : quelques focus

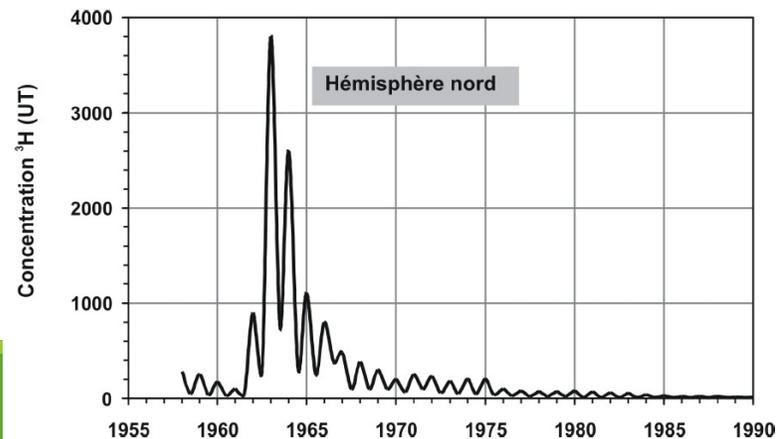
Cas du Carbone 14



onnées

en dehors de tout apport local en 2009 :

Cas du tritium



Quelques enseignements (cas des CNPE d'EDF)

Milieu terrestre :

- Les mesures mettent principalement en évidence l'empreinte environnemental du passé
- Point spécifique sur le C14

Milieu aquatique :

- Mise en évidence d'un ensemble d'émetteurs gamma
- Présence de tritium (libre et lié) et de carbone 14

Conclusion

LES LIMITES ET ENJEUX SCIENTIFIQUES
ENVIRONNEMENTAUX

Les limites et enjeux scientifiques

1. Métrologie et instrumentation

- Amélioration des limites de détection/seuils de décision
- Surveillance en continu (réseau de capteurs)
- Détermination de nouveaux traceurs

BECQUEREL le réseau de mesure de la radioactivité de l'IN2P3/CNRS



2. Modèles

■ Les cas non couverts

- Situation d'urgence
- Gaz rares



■ Chimiques

- Formes (minérales/organiques CO₂/CH₄,...)
- Bioassimilable ou non
- Connaissance de base sur certains radionucléides



Les limites et enjeux scientifiques

2. Modèles (suite)

- Les fluctuations données de transferts mal comprises 
- Compréhension des modes de transferts/transport des radionucléides 
- Robustesse des modèles pour appréhender les temps longs pour le stockage de déchets/résidus notamment (déploiement d'approche bottom-up) 

3. Effets sur le vivant

- Représentativité des espèces de référence (écosystème?)
- Seuil : problématique des faibles doses dans l'environnement
- Détermination des doses aux organismes (approche en laboratoire vs modélisation)
- Effets intergénérationnels (rôle de la radioactivité dans l'évolution)



4. Gestion du risque et lien avec la société



Merci pour votre
attention
