



SYNTHESE DES DONNEES « SOLS & SEDIMENTS » ISSUES DES SUIVIS RADIOECOLOGIQUES DES CNPE D'EDF EN EXPLOITATION

Rédacteurs :

Pierre-Yves HÉMIDY

EDF / DPNT / DPN / UNIE-Groupe Prévention Environnement Exploitation,
Place Pleyel - 93 282 Saint-Denis cedex.

Cécile BOYER

EDF / DPNT / DIPDE-DEED-Service Environnement-IS,
8, cours André Philip - 69100 VILLEURBANNE

Date : 6 février 2019, Paris, Espace du centenaire.

ACCESSIBILITE INTERNE



INTRODUCTION



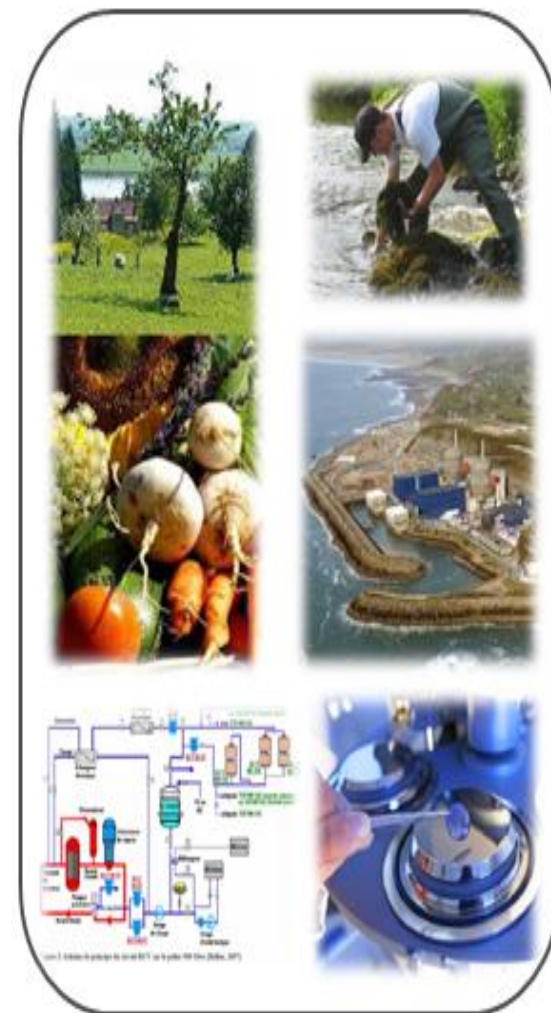
La surveillance de la radioactivité de l'environnement autour d'un CNPE en exploitation repose sur :

- *Une conception appropriée des installations,*
- *Une rigueur d'exploitation au quotidien ➔ Produire en toute sûreté,*
- *Des dispositions réglementaires (décisions modalités propres à chaque site, et des textes d'intérêt supérieur) définies par ASN, dont la nécessaire intégration exhaustive des exigences comprend des matrices issues des compartiments terrestre et aquatique.*

Conformité réglementaire = Permis de produire !

A EDF, la surveillance réglementaire est complétée depuis 1992, à l'initiative de l'exploitant, par une surveillance d'expertise (suivi radioécologique annuel et décennal) reposant sur des MTD, dont les objectifs sont a minima de :

- *Identifier/caractériser de manière fine et précise la radioactivité de l'environnement et suivre son évolution,*
- *Distinguer la contribution d'une installation par rapport aux éventuelles autres sources de radioactivité présente.*



CONTEXTE DE REALISATION DE LA SURVEILLANCE DE L'ENVIRONNEMENT



Le Parc nucléaire EDF c'est :

- **58 réacteurs en exploitation**

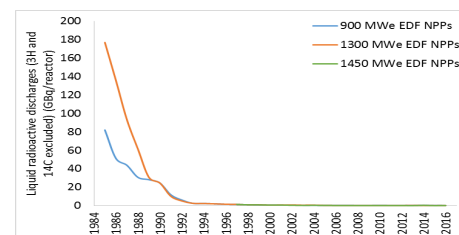
(34 x 900 MWe, 20 x 1300 MWe et 4 x 1450 MWe)

=> Production d'électricité décarbonée (# 400 TWh/an),

=> Production d'effluents radioactifs liquides et « gazeux »,

=> Gestion optimisée des rejets (Type « ALARA » : Justification, Optimisation, Limitation)

- **Réglementation stricte, complexe et évolutive.**



➡ **La présence de RN dans les rejets d'effluents justifie la mise en place d'une surveillance de la radioactivité de l'environnement adaptée à la quantité, à la fréquence et à la nature des rejets.**

Rejets liquides	Rejets à l'atmosphère
- PF comme Iode (^{131}I), Césium (^{137}Cs, ^{134}Cs), - PA comme les Cobalt (^{58}Co, ^{60}Co), ^{54}Mn, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, $^{123\text{m}}\text{Te}$, Antimoine (^{124}Sb, ^{125}Sb), ^{63}Ni, - ^3H et ^{14}C.	- Gaz rares ($^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{133}Xe, ^{135}Xe, ^{41}Ar, ^{85}Kr), - Iode (^{131}I), - Aérosols composés de PA-PF (^{58}Co, ^{60}Co, ^{134}Cs, ^{137}Cs), - ^3H et ^{14}C.

STRATÉGIE DE SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT (1/2)



Lorsqu'une installation nucléaire est en fonctionnement,

- L'exploitant assure une auto-surveillance de l'environnement dont les modalités ont été établies en accord avec l'ASN.

Programme fixe de mesures périodiques (continues à annuelles).

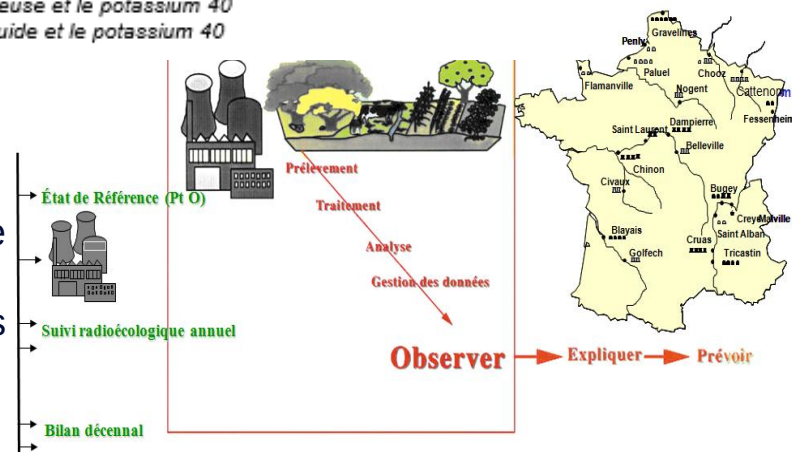
Compartiment de l'environnement	Condition sur les rejets radioactifs	Nature du contrôle	Fréquence	Paramètres ou analyses (toute installation)	Paramètres ou analyses (installations susceptibles de rejeter des radionucléides émetteurs alpha)
Sol	Si rejets atmosphériques	Prélèvement des couches superficielles des terres	Annuelle	Spectrométrie gamma (9)	CNPE en exploitation non concernés
Sédiments	Si rejets liquides		Annuelle	Spectrométrie gamma (11)	

(9) Spectrométrie gamma portant notamment sur les radionucléides rejetés sous forme gazeuse et le potassium 40

(11) Spectrométrie gamma portant notamment sur les radionucléides rejetés sous forme liquide et le potassium 40

Programme de mesures d'expertise,

- Complémentaires de celles réalisées à titre réglementaire et réalisées à l'initiative de l'exploitant
- Confiées à des laboratoires reconnus pour leurs compétences en radioécologie (IRSN & SUBATECH).



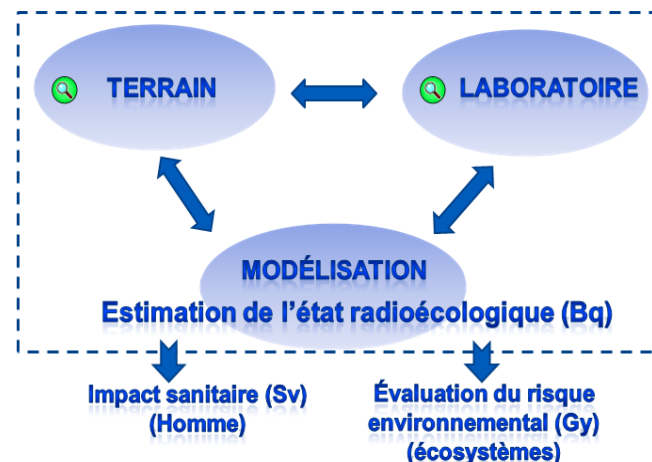
STRATÉGIE DE SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT (2/2)



Le programme de mesures complémentaires d'expertise vise à :

- ❑ **Disposer d'un «référentiel»** précis et actualisé permettant de mettre en perspective l'influence des rejets d'effluents d'un CNPE par rapport aux autres sources de radionucléides mesurées dans l'environnement, « référentiel » qui peut également s'avérer être un indicateur de la qualité d'exploitation des installations,
- ❑ **Connaître l'influence et le comportement dans le temps et l'espace des rejets d'effluents** dans les différents compartiments de l'environnement,
- ❑ **Répondre à d'éventuels questionnements** (public, Autorités,...)
- ❑ **Contribuer à la robustesse de l'étude d'impact,**
- ❑ **Consolider les paramètres des modèles d'impact.**

➡ Les analyses faites à titre réglementaire (ou non) sont réalisées dans des laboratoires dédiés et sous agréments ASN, c'est-à-dire conformes aux exigences de la norme ISO/CEI 17025.



- Compartiment d'accumulation : Intégrateurs pluriannuels des retombées atmosphériques.
- Prélèvement sols peu remaniés (effet mémoire, recherche de signatures isotopiques).
- Bons indicateurs de la présence potentielle de RN émetteurs γ et/ou α .

=> Pour les mesures réglementaires (annuelles) :

- ✓ Horizon [0-5 cm] des sols de prairies/pâturages non remaniés (sauf mentions contraires)
- ✓ Sans couvert végétal autre que des végétaux herbacés (sauf mentions contraires)
- ✓ Au moins un an d'exposition et même zone d'une année sur l'autre

=> Pour les mesures non réglementaires (i.e. : suivis radioécologiques annuels et décennaux) :

- ✓ Horizon [5-15 cm] et [15-30 cm] des sols de prairies/pâturages non remaniés => spectro γ
- ✓ Recherche au-delà du spectre de référence
=> Notamment... ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am => spectro α sur horizon [0-5 cm]
- ✓ Essais/tests techniques analytiques
- ✓ Echantillothèque offrant la possibilité de réaliser des analyses en différé dans le temps ou à visée prospective

Mesures 100% prestées ➡ Contrat suivi radioéco. : IRSN & SUBATECH

- **Compartiment d'accumulation** : Excellents intégrateurs pluriannuels a fortiori les sédiments de surface qui intègrent les épisodes récents de dépôts.
- **Bons indicateurs** de la présence potentielle de RN émetteurs γ ou α .
⇒ Comme les sols, les sédiments sont dotés d'un effet mémoire, facilitant la recherche de signatures isotopiques.
- ⇒ **Pour les mesures réglementaires annuelles** :
 - ✓ Prélèvement de sédiments de granulométrie la plus fine possible (i.e. : < 2 mm) car dotés d'une surface spécifique plus importante favorable à la fixation des RN présentant une forte affinité pour la phase particulaire
 - ✓ 2 prélév^t./site : ZNI des rejets (amont ou champ lointain) et ZI (aval ou champ proche)
 - ✓ Granulométrie + teneur en MO réalisées en plus pour comparabilité & interprétation des résultats
- ⇒ **Pour les mesures des suivis radioécologiques annuelles et décennaux** :
 - ✓ Recherche au-delà du spectre de référence (^{14}C , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , notamment...+ TOL, ^{90}Sr , ^{63}Ni , ^{55}Fe)
 - ✓ Echantillothèque offrant la possibilité de réaliser des analyses en différé dans le temps ou à visée prospective

Mesures 100% prestées ➡ Contrat suivi radioéco. : IRSN & SUBATECH

- **Sols & sédiments** : techniques et performances analytiques similaires.

- ⇒ Echantillonnage / Traitement(s) / Conditionnement
- ⇒ Analyses par spectrométries γ des mesures réglementaires réalisées s/c agréments 2_01 & 2_02 relatifs aux matrices de type 2 (Sols – terres, sédiments, boues, etc.)
- ⇒ SD analytique < 0,5 Bq/kg sec en ^{137}Cs (Cf. 3.3.3 Décision Env.)

Au moment du dépouillement du spectre, la présence des RN caractéristiques des rejets d'effluents des sites est regardée avec une attention particulière.

- **Mise à profit des Compléments Décennaux pour réaliser des Essais/tests techniques analytiques** :

- ⇒ Spectrométrie γ in situ
- ⇒ Nouvelles procédures/protocoles d'analyse (Ex. : ^{63}Ni ou ^{55}Fe)

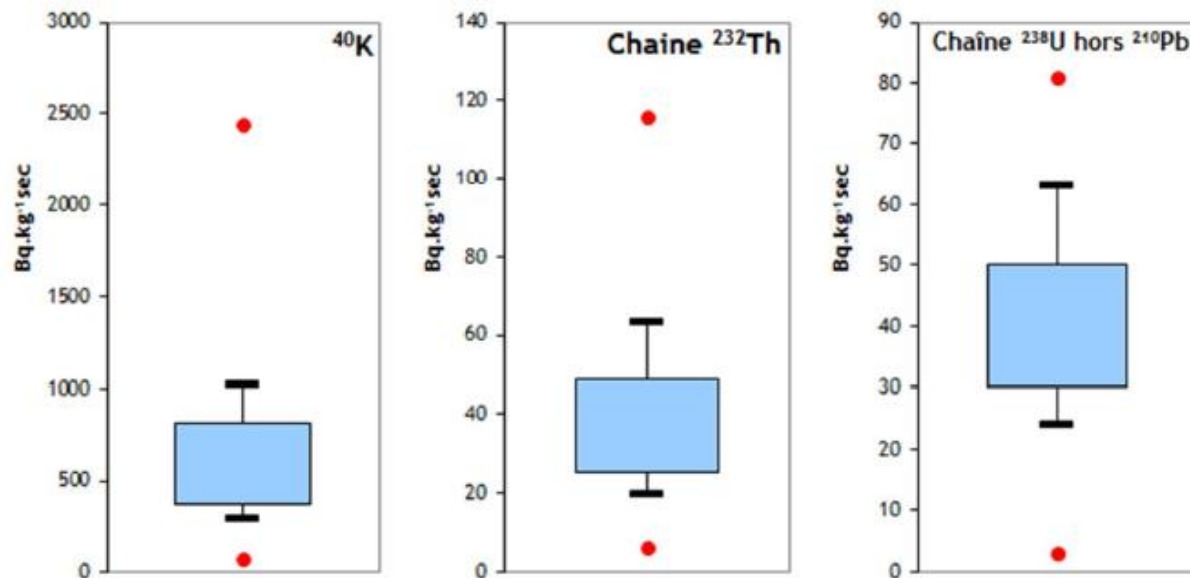
- **Gestion d'une échantillothèque** (visée prospective)

- ⇒ # 1 kg de sol ou sédiments lyophilisés
- ⇒ Stockage d'échantillons prélevés en ZI & ZNI
- ⇒ Possibilité d'analyses a posteriori ou à visée prospective



La radioactivité naturelle

- De loin la composante majoritaire de la radioactivité des sols autour des CNPE
- Conforme aux valeurs observées en France métropolitaine
- Peu/pas d'évolution depuis la mise en service du Parc
 - ⇒ Composant principal : ^{40}K (de qq dizaines à centaines de $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$)
 - ⇒ Dans une moindre mesure : RN de la famille du ^{232}Th (# 40 à 50 $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$), l' ^{238}U (# 20 à 50 $\text{Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$) et le ^7Be (le plus souvent < dizaine de Bq/kg sec).



Source : www.irsn.fr

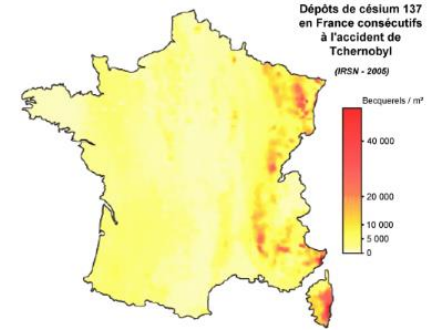
PRINCIPAUX RÉSULTATS – SOLS (2/4)



La radioactivité artificielle

□ ^{137}Cs ubiquitaire

- ⇒ Présence fonction des zones géographiques
- ⇒ Qq Bq/kg sec à la dizaine de Bq/kg sec
- ⇒ Niveaux d'activité >> matrices biologiques (sauf champignons)



Source : www.irsn.fr

- Présent dans les rejets des REP (atmosphériques notamment), une contribution des CNPE ne peut être exclue, mais l'origine principale sont les retombées des essais aériens d'engins nucléaires et l'accident de Tchernobyl (différence ZI vs ZNI ténue).

Les résultats obtenus ne permettent pas d'identifier une influence quantifiable des RN émetteurs gamma artificiels présents dans les rejets « gazeux » des CNPE en exploitation, ceux-ci étant "masqués" par la rémanence des retombées atmosphériques.

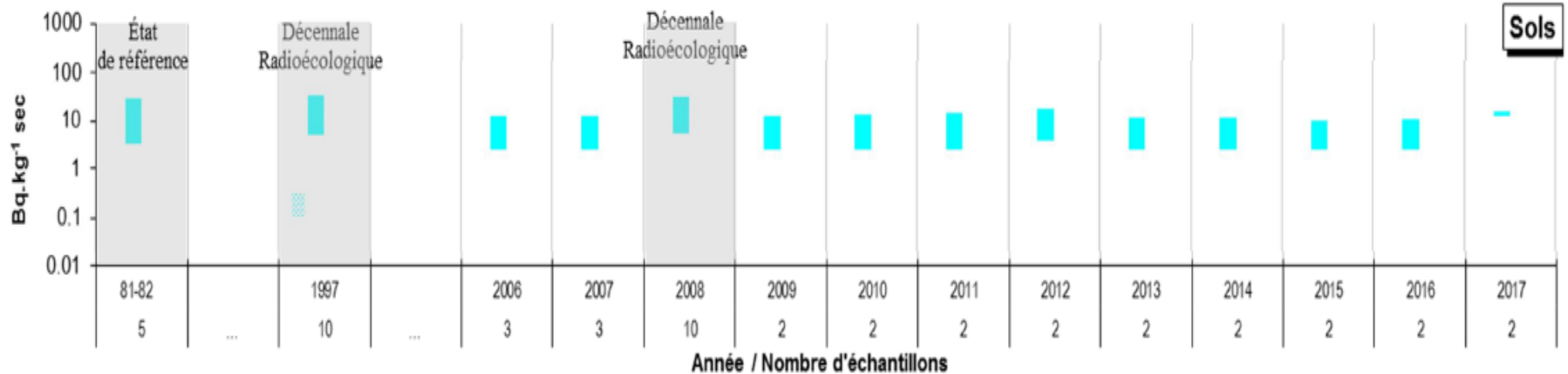
Sur la période 2008-2018 et à l'exception de CIV en 2011 avec du ^{134}Cs , le ^{137}Cs est le seul RN artificiel détecté dans les sols au voisinage des CNPE.



PRINCIPAUX RÉSULTATS – SOLS (3/4)



Exemple :
Évolution de la radioactivité artificielle
dans les sols à proximité du
CNPE de Cattenom (^{137}Cs)



Résultats issus de la surveillance réglementaire

PRINCIPAUX RÉSULTATS – SOLS (4/4)



Exemples :

Surveillance complémentaire radioécologique décennale du CNPE de Paluel 2016

Spectrométrie γ in situ

- Pour tous les RN considérés, les activités moyennes et les débits de dose associés en ZI & ZNI sont comparables
⇒ Pas d'influence significative liée aux activités du CNPE.
- Les RN naturels (telluriques) contribuent majoritairement à l'activité et au débit de dose enregistrés :
 - ⇒ > 98% de la dose (0,36 mSv/an),
 - ⇒ ^{137}Cs , 1,2% de la dose (0,005 mSv/an).



Spectrométrie α et autres mesures RN spécifique

- Mesures $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu & ^{241}Am
 - ⇒ Pas d'influence liée aux activités du CNPE, niveaux d'activité cohérents avec ceux attendus pour un sol en ZNI, idem pour le sol en ZI.
 - ⇒ Pas dévolution par rapport au précédent Bilan Décennal de 2005.



Complémentaires des analyses réalisées sur les effluents, ces résultats confirment le respect des exigences réglementaires associées aux rejets liquides et atmosphériques du CNPE, notamment vis-à-vis des transuraniens et du ^{90}Sr dont l'origine dans l'environnement est à rapprocher des retombées des essais nucléaires atmosphériques.

Ecosystème aquatique continental :

❑ Radioactivité naturelle : conforme aux valeurs observées en France.

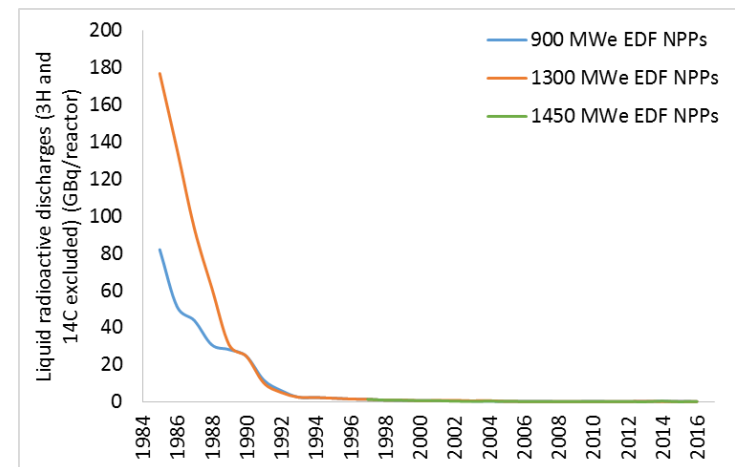
- ⇒ Même ordre de grandeur que lors des études antérieures et état de référence, confirmant l'absence de biais dans les prélèvements, traitements et analyses des échantillons.
- ⇒ Très majoritairement due au ^{40}K et, dans une moindre mesure, au ^7Be un RN cosmogénique, et aux éléments de la famille du ^{232}Th et de l' ^{238}U .

❑ Radioactivité artificielle : le ^{137}Cs omniprésent.

- ⇒ Présence varie grandement en fonction des zones géographiques, de quelques Bq/kg sec à plusieurs dizaines de Bq/kg sec.
- ⇒ Contribution des rejets d'effluents liquides des CNPE est parfois mise en évidence par des activités plus élevées en ^{137}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{60}Co dans les sédiments prélevés à l'aval immédiat.
- ⇒ A noter : ^{58}Co , ^{54}Mn , ^{134}Cs & ^{125}Sb caractérisés par le passé, ne le sont plus aujourd'hui.

Si les niveaux d'activité varient selon les CNPE / lieux / périodes de prélèvement :

- ⇒ **Tendance à la baisse observée depuis le début des suivis radioécologiques**
- ⇒ **A rapprocher des efforts accomplis par l'exploitant pour optimiser/réduire l'activité rejetée via les effluents liquides**

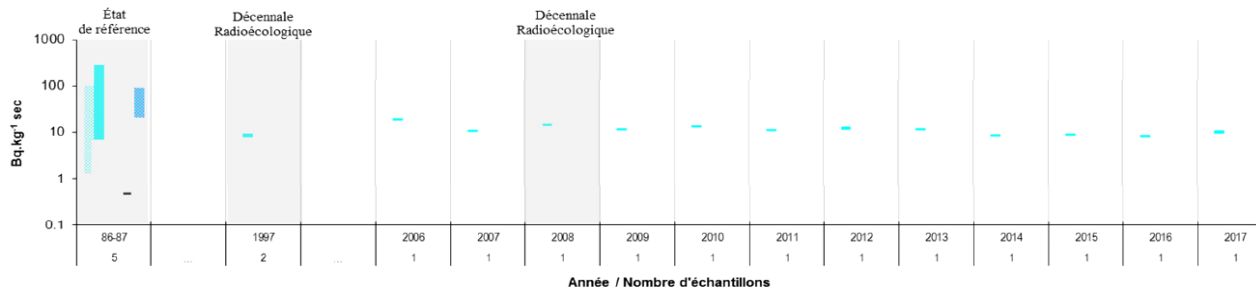


PRINCIPAUX RÉSULTATS – SEDIMENTS (2/6)



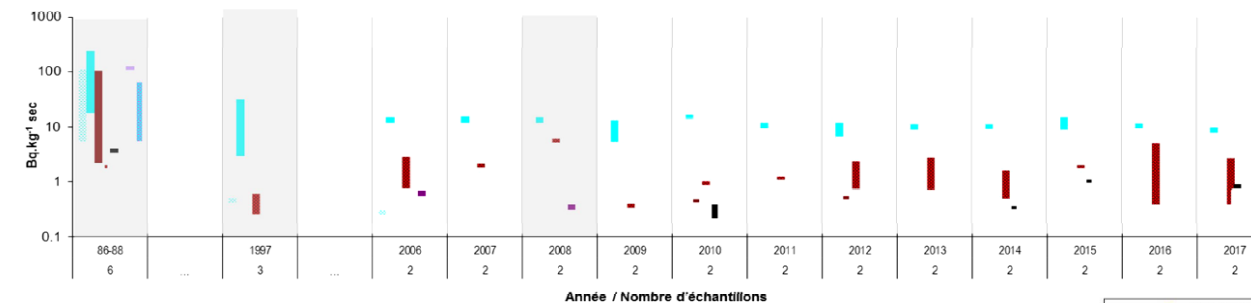
Ecosystème aquatique continental : Exemple de la variation temporelle des activités (min-max) des RN artificiels détectés par spectrométrie γ dans les sédiments de l'écosystème aquatique de la région de Cattenom.

Amont

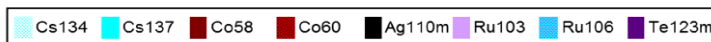


^{137}Cs en amont :
 $10,6 \pm 0,9 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$

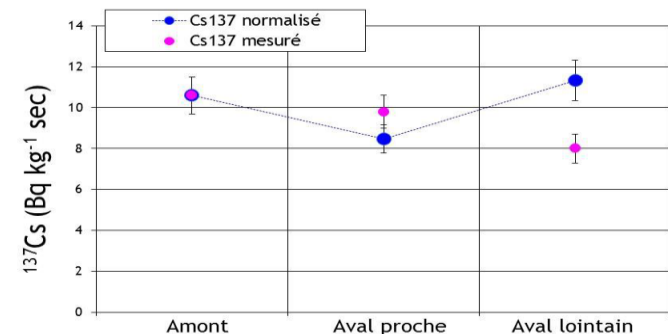
Aval



^{137}Cs en aval :
 $8,0 \pm 0,7$
 et $9,8 \pm 0,8 \text{ Bq.kg}^{-1} \text{ sec}$.



⇒ Pour le ^{137}Cs , après normalisation de l'activité massique par la teneur en particules fines (argiles et limons fins), les activités à l'amont et à l'aval du CNPE sont effectivement du même ordre de grandeur.



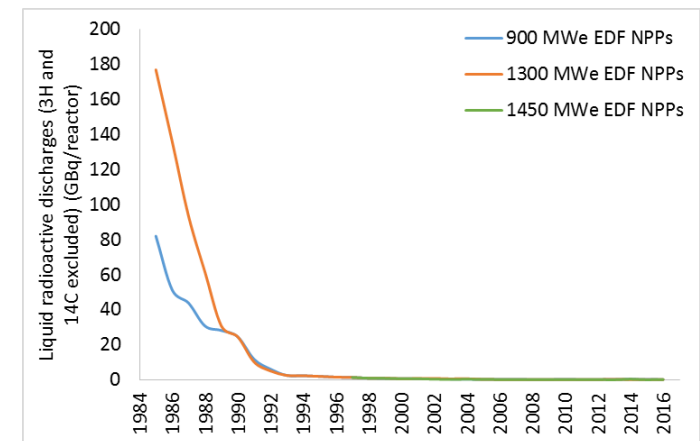


Ecosystème aquatique marin :

- **La radioactivité naturelle est cohérente avec les valeurs observées en France**
 - ⇒ Stabilité dans le temps
 - ⇒ Dominé par le ^{40}K (# 100 à 300 Bq/kg sec) et les RN de la famille de l'U8 et du ^{232}Th (^{228}Ac) et ^7Be .
- **FLA, PAL, PEN, GRA : une influence discrète des rejets liquides des CNPE**
 - ⇒ Influence notable du contexte marin local par les rejets d'Orano La Hague, de 2 à 4 ordres de grandeurs supérieurs à celui des CNPE.
 - ⇒ ^{137}Cs mesuré dans les sédiments (0,1 - 4,5 Bq/kg sec) et dans une moindre mesure du ^{60}Co (0,1 – 2,1 Bq/kg sec).
 - ⇒ ^{58}Co , ^{125}Sb , ^{54}Mn , ^{134}Cs , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ rarement détectés.

Si les niveaux d'activité varient selon les CNPE, les lieux et les périodes de prélèvement :

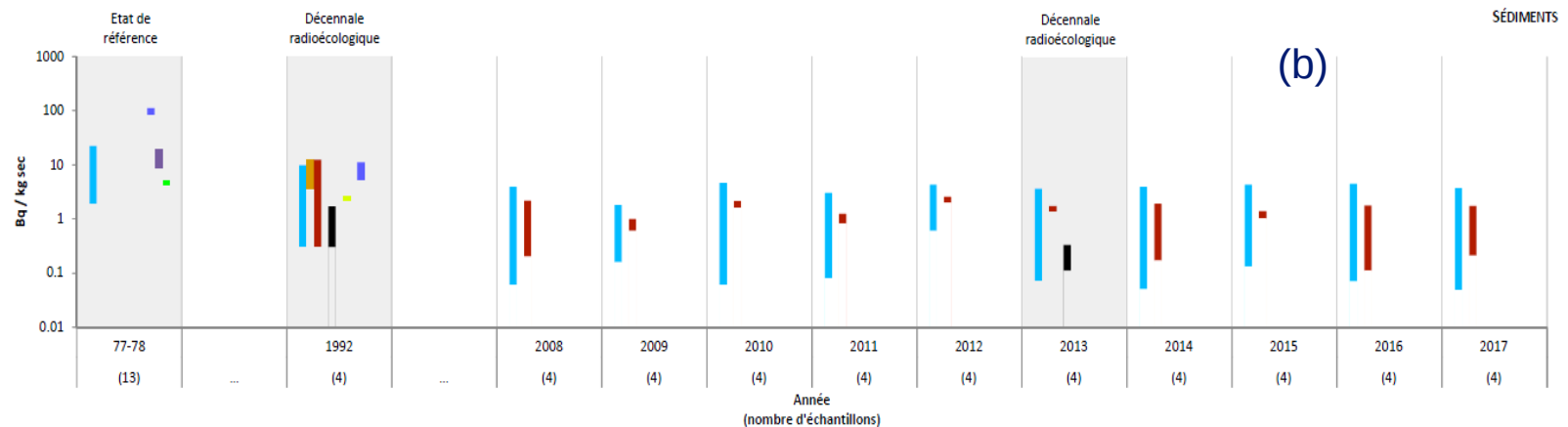
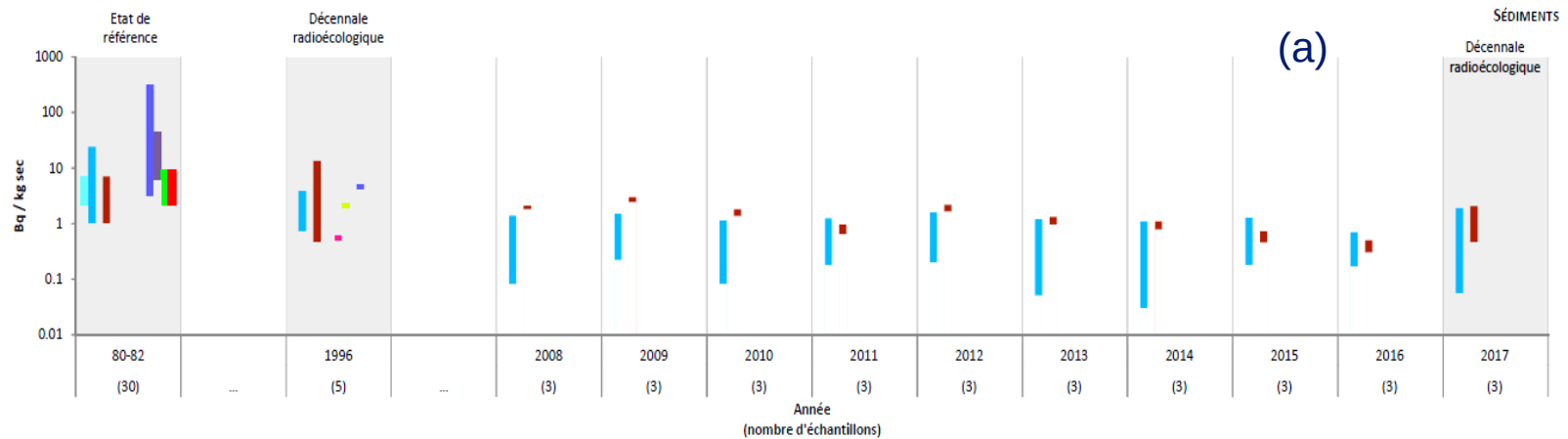
- ⇒ **Tendance à la baisse est observée depuis le début des suivis radioécologiques**
- ⇒ **Observation à relier aux efforts accomplis par l'exploitant pour optimiser/réduire l'activité rejetée via les effluents liquides**



PRINCIPAUX RÉSULTATS – SEDIMENTS (5/6)



- **Ecosystème aquatique marin** : Exemple de variation temporelle des activités (min-max) des radionucléides artificiels détectés par spectrométrie γ dans les sédiments de l'écosystème aquatique de la région de FLA ^(a) et GRA ^(b).



Exemples :

Surveillance complémentaire radioécologique décennale du CNPE de Paluel 2016

Spectrométrie α et autres mesures RN spécifiques

- Mesures $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{244}Cm , ^{63}Ni , ^{14}C , ^{99}Tc , ^{90}Sr
(+ ^{55}Fe depuis peu mais SD encore trop élevé).



- ⇒ Les activités sont « cohérentes » avec celles mesurées en Manche autour des autres CNPE
- ⇒ Les rapports $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ et $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ sont supérieurs aux rapports isotopiques des retombées des essais aériens et témoignent de l'influence des rejets d'Orano La Hague.
- ⇒ Traces de ^{63}Ni à relier aux rejets d'Orano La Hague et aux CNPE ($1,99 \pm 0,28$ Bq/kg sec en ZI et $< 0,19$ Bq/kg sec en ZNI).
- ⇒ Léger marquage des sédiments en champs proche par le ^{14}C ($135,0 \pm 2,1$ et $206,6 \pm 1,1$ Bq/kg de C en ZI proche et $95,6 \pm 1,4$ Bq/kg de C en ZNI) mais activité basse comparée aux matrices biologiques et à relier à la faible teneur en MO des sédiments ($< 2\%$). Cette observation n'a pas été faite pour le BD FLA de 2017.
- ⇒ $^{90}\text{Sr} < \text{SD}$ et $^{99}\text{Tc} \# \text{SD}$ à rapprocher des activités d'Orano La Hague car ces RN ne sont pas présents dans les rejets des REP.

CONCLUSIONS



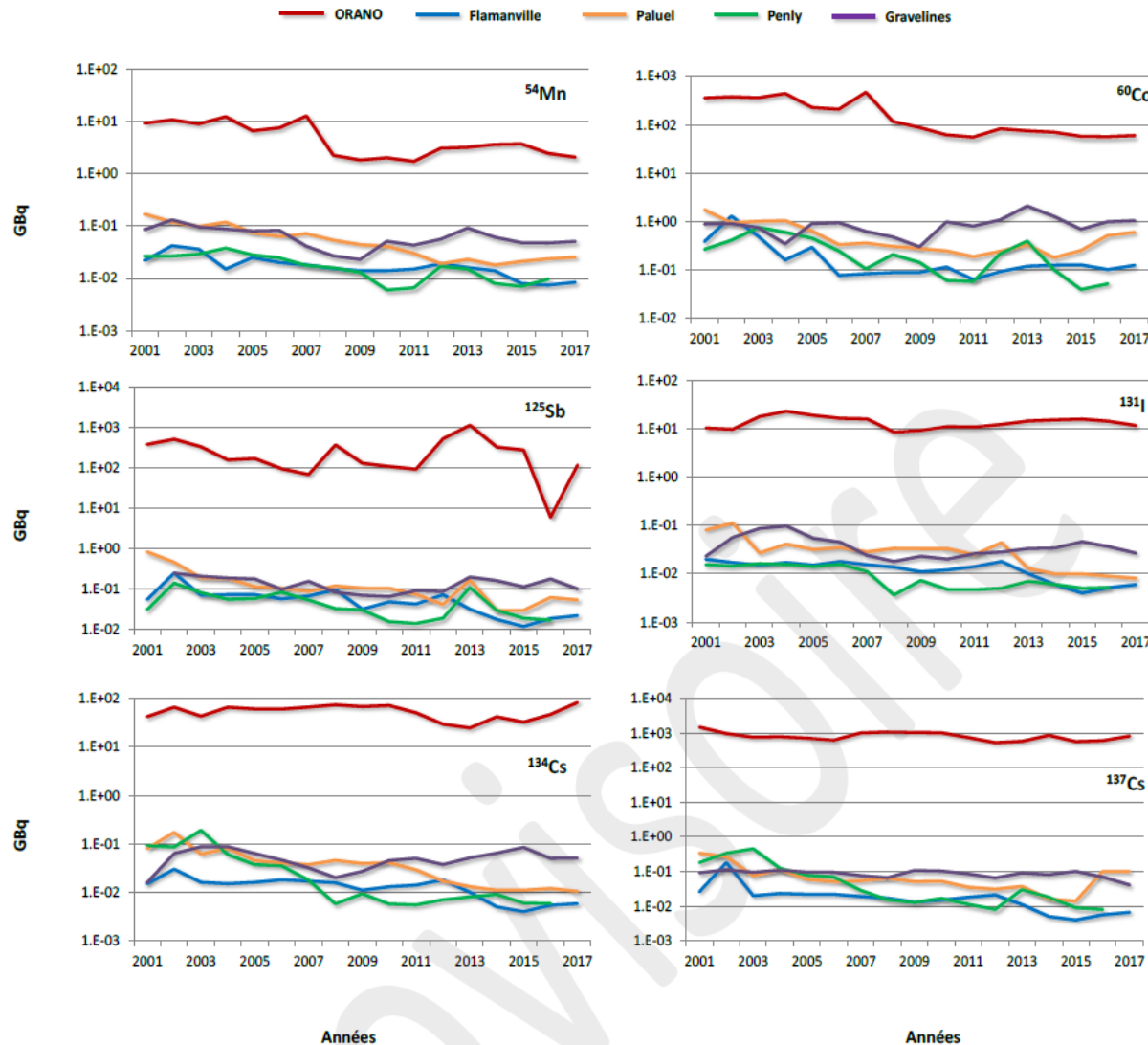
- ⇒ La surveillance de l'environnement est un élément clé de l'exploitation d'un CNPE, elle est indispensable à la démonstration d'une exploitation maîtrisée.
- ⇒ Si les mesures réglementaires visent principalement à s'assurer du respect des dispositions & limites fixées par la réglementation, elles sont idéalement complétées par d'autres, réalisées dans le cadre de suivis d'expertise (radioécologie) répondant d'avantage à une logique de démonstration.
- ⇒ Dans ce cadre, le suivi des sols et des sédiments, deux matrices intégratrices, est pertinent. Il complète le suivi des matrices environnementales sentinelles utiles à l'identification des traces (bio-indicateurs), ainsi que celui des vecteurs directs de radioactivité (air et eau) et des matrices biologiques consommées par l'homme et/ou les animaux.
- ⇒ Les résultats des analyses réalisées concourent aussi à la démonstration/appréciation factuelle du faible impact environnemental et dosimétrique des rejets de nos installations sur leur environnement et sur l'homme.



MERCI !



PRINCIPAUX RÉSULTATS – SEDIMENTS (4/6)



Ecosystème aquatique marin :

FLA, PAL, PEN, GRA :

⇒ Influence discrètes des rejets liquides des CNPE,

⇒ Masquée par les rejets d'Orano La Hague, de 2 à 4 ordres de grandeur supérieurs aux CNPE.

⇒ [Retour](#)