



# Rejets d'iodes des CNPE en exploitation et résultats de la surveillance radioécologique

Pierre-Yves HEMIDY<sup>1</sup>, Cécile BOYER<sup>2</sup>

EDF S.A.

<sup>1</sup>DPNT / DPN / UNIE-Groupe Prévention Environnement Exploitation,  
Place Pleyel - 93 282 SAINT-DENIS cedex

<sup>2</sup>DPNT / DIPDE-DEED-Service Environnement,  
8, Cours André Philip - 69100 VILLEURBANNE

[pierre-yves.hemidy@edf.fr](mailto:pierre-yves.hemidy@edf.fr)

[cécile-c.boyer@edf.fr](mailto:cécile-c.boyer@edf.fr)

# Sommaire

**1.** Introduction

**2.** Les rejets  
d'iodes par voies  
« gazeuse » &  
Liquide

**3.** Les résultats de  
la surveillance de  
l'environnement

1

# Introduction

# Introduction

Pour produire de l'électricité, les CNPE tirent leur énergie de la fission de l'  $^{235}\text{U}$  et du  $^{239}\text{Pu}$ .

C'est cette dernière qui est à l'origine de la production de produits de fission (PF), famille de radionucléides à laquelle qu'appartiennent les iodes radioactifs (# 2.E7 TBq/réacteur 900 MW) cependant comptabilisés séparément.

Confinés dans le combustible, une faible fraction de ces PF, dont des iodes, peuvent passer dans le RCP et ainsi atteindre les effluents produits en phase d'exploitation.

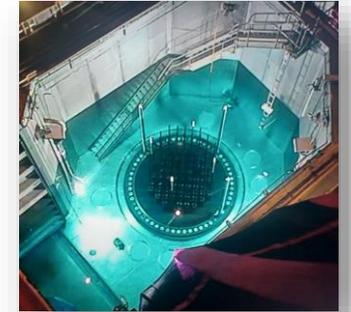
⇒ Ce sont eux qui sont à l'origine de rejets d'iodes, strictement réglementés, par voies liquides et gazeuse.

Dans l'objectif de s'assurer du [respect des dispositions réglementaires](#), l'exploitant se doit de mettre en place un [programme de contrôle des rejets](#) et un [programme de surveillance de l'environnement](#) établi en accord avec l'Autorité de Sûreté Nucléaire et réalisé sous la responsabilité de l'exploitant selon le principe d'autosurveillance.

En cohérence avec la thématique de ces journées techniques organisées par les sections « Recherche et Santé » et « Environnement » de la SFRP, nous présenterons :

⇒ [Les rejets d'effluents par voies « gazeuse » & liquide contenant des iodes](#) (*nature, origine, activités rejetées*) issus du fonctionnement normal des Centres Nucléaires de Production d'Electricité (CNPE) en exploitation

⇒ [Les résultats de la surveillance environnementale](#) des iodes radioactifs dont les enseignements et retours d'expérience sont tirés de plus de 30 années de suivis radioécologiques.



2

## Les rejets d'iodes par voies « gazeuse » & liquide

# Nature & origine des iodes présents dans les rejets « gazeux »

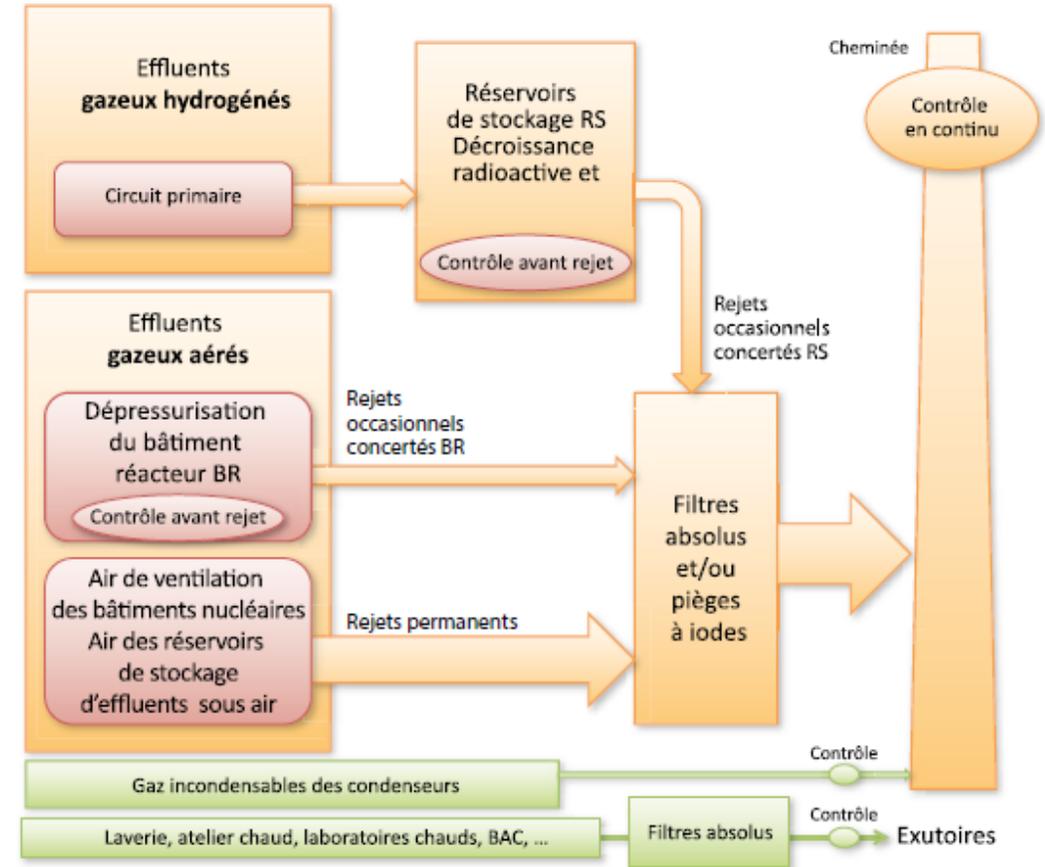
Les **effluents radioactifs « gazeux »** se divisent en **2 grandes catégories** :

## 1. Les **effluents gazeux dits « hydrogénés »**

- Dégazage des effluents liquides issus du RCP,
  - Collectés & stockés  $\geq 30$  jours en Réservoirs (TEG ou RS) pour décroissance avant réalisation d'un rejet concerté,
- ⇒ Ces effluents ( $1500$  à  $4000 \text{ Nm}^3/\text{an}$ ) sont analysés avant rejet à la cheminée après traitement/passage sur filtres absolus à très Haute Efficacité (THE) et Pièges à Iodes (PI).

## 2. Les **effluents gazeux dits « aérés »**

- Issus de la collecte des événements des circuits de traitement des effluents liquides radioactifs, de la dépressurisation du BR et de la ventilation/soufflage des locaux de l'îlot nucléaire,
  - Traitement/passage sur filtres absolus à Très Haute Efficacité (THE) et, pour certains circuits, sur PI avant rejet en continu à la cheminée.
- ⇒ Rejets permanents et représentent l'essentiel des rejets radioactifs gazeux ( $1$  à  $2$  milliards de  $\text{Nm}^3/\text{an}/\text{unité}$ ).



# Programme de contrôles des rejets « gazeux » d'iodes

## Contrôles avant rejet des effluents radioactifs gazeux (rejet concerté)

Les effluents issus des réservoirs TEG (RS) et de l'air du BR sont toujours contrôlés avant rejet.

Les analyses sont effectuées au laboratoire « Effluents - Eq ISO 17025 » sur des prélèvements d'air et d'aérosols sur filtre :

- Activité  $\beta$  globale,
- Spectrométrie  $\gamma$  : Analyse/détermination des constituants,
- Activité volumique  $\alpha$  globale d'origine artificielle  $\leq 1.E-3 \text{ Bq/m}^3$  (SD réglementaire - Cf. DMOP).

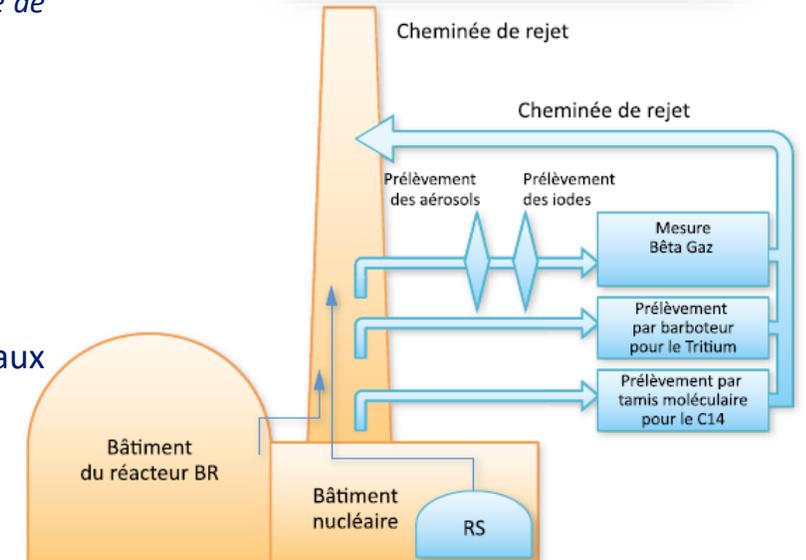
## Contrôles en continu des rejets gazeux à la cheminée

- Activité  $\beta$  global de l'air rejeté (2 appareils redondants, alimentation électrique secourue et retransmission des mesures & alarme en SDC),
- Débit de rejet des effluents à la cheminée (mesure doublée, secourue électriquement et enregistrée en salle de commande ( $\text{m}^3/\text{s}$ )).

## Contrôles périodiques en complément des contrôles en continu

Effectués sur 4 périodes réglementaires (du 1<sup>er</sup> au 7, du 8 au 14, du 15 au 21, du 22 à la fin du mois).

- Les iodes pour l'analyse  $\gamma$  globale et la détermination des  $^{131}\text{I}$  et  $^{133}\text{I}$  (cartouche de charbon actif),
- Les gaz rares sur un prélèvement instantané,
- Les aérosols prélevés sur filtre pour la mesure de l'activité  $\beta$  globale, la détermination des principaux radionucléides (PF-PA) et la mesure  $\alpha$  globale d'origine artificielle,
- Le  $^3\text{H}$  (prélèvement sur barboteurs réfrigérés),
- Le  $^{14}\text{C}$  (prélèvement trimestriel sur un tamis moléculaire).



# Limites et rejets « gazeux » d'iodes

Pour les rejets radioactifs gazeux, les autorisations de rejets fixent :

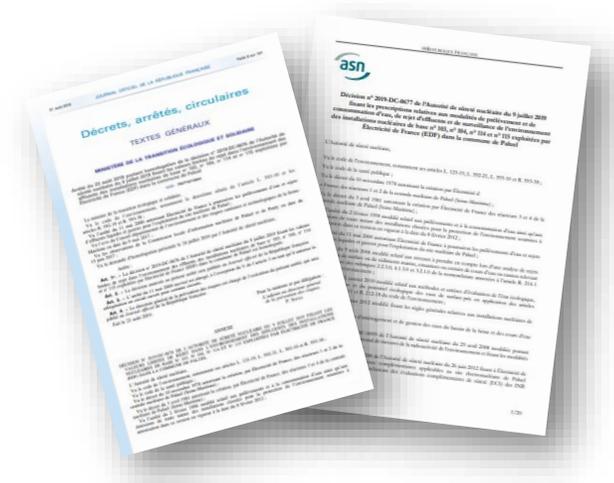
- Une **limite annuelle** pour chacune des 5 catégories de radionucléides réglementés, dont les iodes.
- Des **limites visant à assurer la bonne diffusion des rejets dans l'atmosphère** :
  - Débit d'activité à ne pas dépasser à la cheminée (*en Bq/s*),
  - Activité volumique maximale de l'air ambiant (*en Bq/m<sup>3</sup>*).

## Les rejets d'iodes dits « gazeux » :

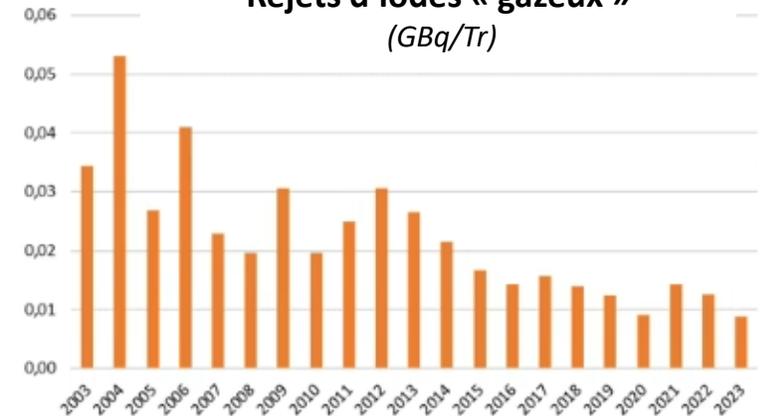
- **Faibles < 0,02 GBq/réacteur en moyenne depuis presque 10 ans.**
  - ⇒ Bon confinement des circuits et de l'efficacité des systèmes de piégeage,
- 30 à 40 % des rejets d'iodes attribuables à la comptabilisation de SD,
- Tests PI (*réalisés avec de l'<sup>131</sup>I*) => Jusqu'à # 10 % des rejets totaux en iodes.

Certains éléments/aléas liés à l'exploitation des installations peuvent impacter les rejets d'iodes par voie « gazeuse » :

- Des inétanchéités de combustibles,
- Un marquage résiduel par suite de dissémination de matière fissile lors d'un cycle précédent,
- Des dégazages dans des locaux dont les effluents ne sont pas repris, de conception, sur PI avant rejet,
- Une perte d'efficacité des PI.



Rejets d'iodes « gazeux »  
(GBq/Tr)



# Nature & origine des iodés présents dans les rejets liquides

Les effluents radioactifs liquides sont classés selon leur provenance.

## 1. Les « effluents primaires hydrogénés » :

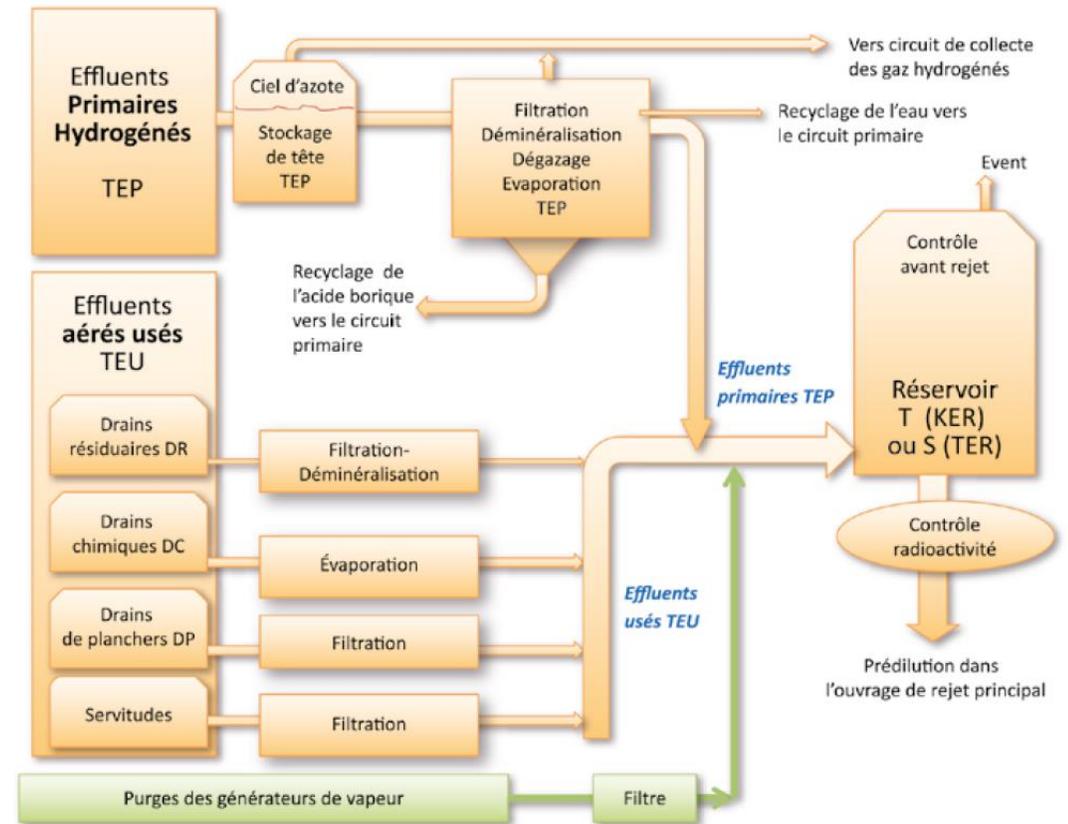
- Proviennent du RCP, ils contiennent des PF dissous (*dont des I, mais aussi Xe, Cs, ...*) et des PA (*Co, Mn, <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, ...*).
  - ⇒ Produits en phase d'exploitation, notamment lors des mouvements d'eau liés aux variations de puissance ou l'ajustement de paramètres chimiques.

## 2. Les « effluents usés » :

- Issus des circuits auxiliaires, ils ont pour origines principales :
  - ⇒ Opérations de maintenance nécessitant des vidanges de circuit (*filtres, déminéraliseurs, échangeurs...*),
  - ⇒ Opérations d'évacuation du combustible usé et de conditionnement des résines usées,
  - ⇒ Maintien de la propreté des installations (*lavage des sols et du linge*).

Les effluents radioactifs liquides sont collectés de façon sélective avant d'être orientés vers les systèmes de traitement appropriés (*filtration, évaporation, ...*) afin de retenir l'essentiel de leur radioactivité.

Ils sont ensuite acheminés vers des réservoirs (*KER (T) ou S*) où ils subissent des contrôles systématiques sur les plans radioactif & chimique, avant rejet.



# Programme de contrôles des rejets d'iodes par voie liquide

Tout effluent, susceptible d'être radioactif, ne peut être rejeté sans avoir été au préalable contrôlé dans les conditions fixées par la réglementation. Les analyses sont effectuées sur site au laboratoire « Effluents - Eq ISO 17025 »

## Avant rejet

Le rejet d'un réservoir KER (ou T) ou S ne peut être réalisé sans que les résultats des analyses suivantes soient connus :

- **Activité  $\gamma$  globale & Spectrométrie  $\gamma$**  (Composition isotopique et notamment des iodes),
- **Activité  $\beta$  globale** (Si  $> 20$  kBq/L, l'effluent ne peut être rejeté et doit être retraité),
- $^3\text{H}$ ,
- $^{14}\text{C}$  &  $^{63}\text{Ni}$  (analyses longues, techniques complexes => Prestées => Résultats a posteriori).

## Conditions de rejet

- Débit de rejet calculé (pré-dilution minimale réglementaire avant rejet - dilution 500 minimum),
  - ⇒ Rejet autorisé ssi le débit du cours d'eau se trouve dans la plage fixée par la réglementation (ex. Loire à CHI : Min. 54 m<sup>3</sup>/Sec – Max. 2000 m<sup>3</sup>/sec)
  - ⇒ Si en dehors de cette plage de débit (étiage ou crue) : Rejets interdits.

## Pendant le rejet

- **Mesure  $\gamma$  globale (KRT) en continu sur la canalisation de rejet** (doublée et secourue électriquement)
  - ⇒ Rejet stoppé automatiquement sur seuil (40 kBq/L).

Pendant la durée du rejet, l'opérateur contrôle :

- ⇒ Le débit de rejet,
- ⇒ L'évolution du niveau du réservoir.

*Si besoin, l'opérateur ajuste le débit de rejet à celui du cours d'eau afin de respecter les limites réglementaires.*



## Contrôle du milieu récepteur

- **Activités  $^3\text{H}$  & IRBG à SMP aval** (Prélèvements par HC, tous les jours pendant/hors périodes de rejet),
  - ⇒ Prélèvements également à SMP amont (analysé si résultats non conformes à l'attendu en aval),
- **Sites marins** : la notion amont/aval n'existe pas,
  - ⇒ Contrôles effectués dans les puits ou bassins de rejets (déversoirs à BLA, canal de rejet à GRA) = Image du milieu récepteur
  - ⇒ Prise d'eau = Image de l'amont.



# Limites et rejets d'iodes par voie liquide

## Limites de rejet (réservoirs KER et S)

Les contrôles effectués par l'exploitant visent à s'assurer du respect des limites fixées par la réglementation.

Les autorisations fixent pour les rejets liquides :

- Une **limite annuelle** pour chacune des 4 catégories de radionucléides réglementés ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , I et autres PF-PA).
- Des limites visant à assurer une bonne diffusion des rejets dans le milieu aquatique en définissant :
  - Un **débit d'activité à ne pas dépasser**, exprimé en Bq/s, en moyenne sur 24h.
  - Une **activité volumique maximale en aval** des rejets, exprimée en Bq/L.

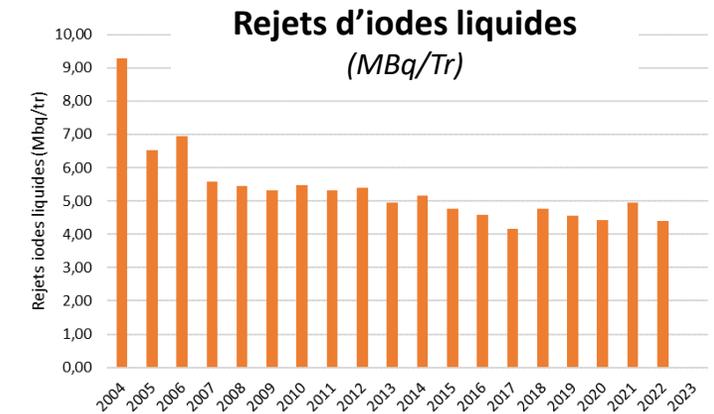
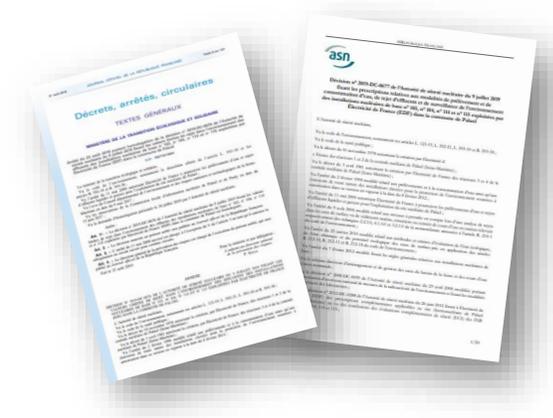
## Les rejets d'iodes (PF) par voie liquide sont très faibles : < 5 MBq/réacteur/an.

- Activité rejetée par voie liquide **majoritairement « seuillée »**

⇒ En 2021, pour 17 CNPE, l'activité rejetée en lode est exclusivement liée à la comptabilisation.

Plusieurs raisons :

- Les iodes formés dans le combustible y restent confinés.
  - ⇒ En cas d'inétanchéité, les lodes et d'autres PF peuvent migrer dans l'eau primaire. Aussi, son activité volumique, et plus particulièrement celles des lodes, est suivie.
  - ⇒ Respect des spécifications radiochimiques.
- RCP équipé d'un circuit de purification (RCV) qui maintient l'activité de l'eau primaire le plus bas possible,
  - ⇒ I du RCP sont piégés efficacement par les systèmes de traitement,
  - ⇒  $^{131}\text{I}$  &  $^{133}\text{I}$  : disparition rapide par décroissance (*périodes courtes* (# 8 jours & 21 heures).
- Activités rejetées, pas directement corrélés à la présence de défauts d'étanchéité de la gaine du combustible,
  - ⇒ Bonne efficacité des systèmes de traitement TEP et TEU.
- Disponibilité des réservoirs KER et une éventuelle décroissance avant rejet
  - ⇒ Favorables à la baisse/diminution de l'activité rejetée.

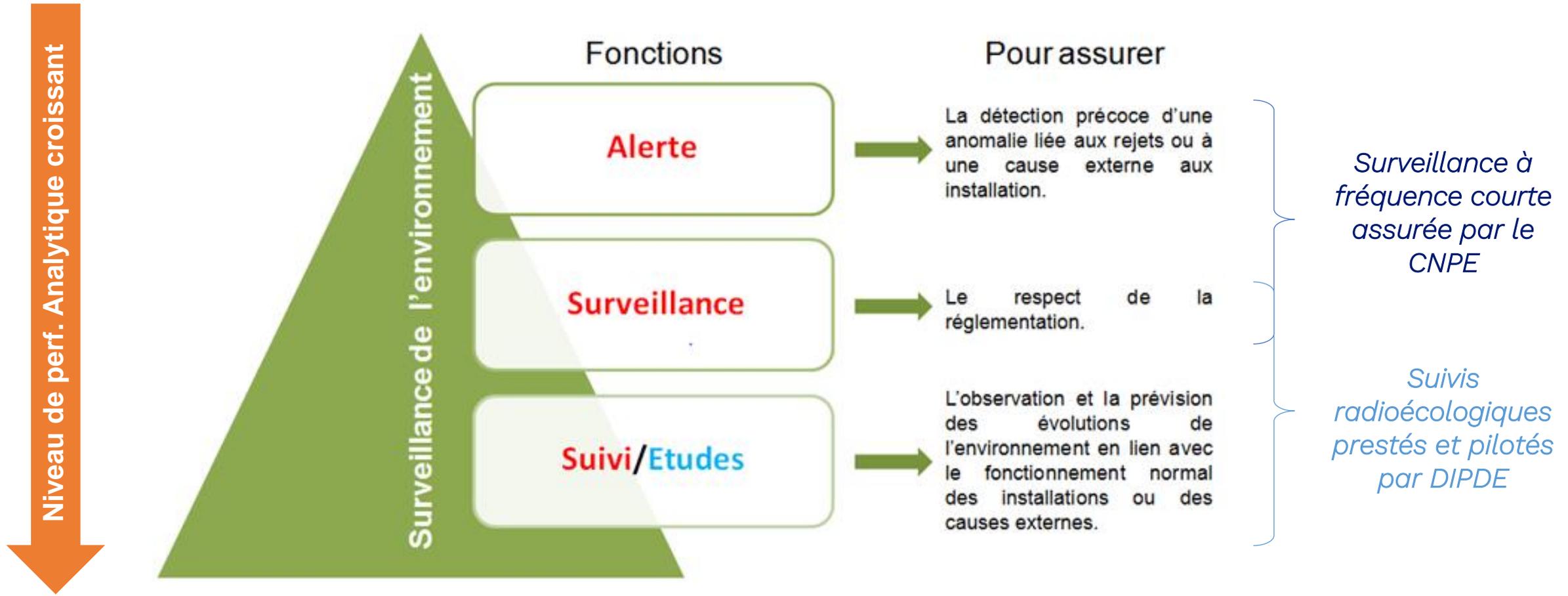


3

## Les résultats de la surveillance de l'environnement

# Programme de surveillance radiologique de l'environnement

## A. Fonctions de la surveillance de l'environnement



# Programme de surveillance radiologique de l'environnement

## B. Surveillance des iodes

- Très faibles niveaux d'activité rejetés en iodes radioactifs (IRA) par voie liquide et/ou à l'atmosphère.  
⇒ Une fois dispersées dans l'environnement, les activités volumiques ou massiques des IRA deviennent beaucoup trop faibles pour être mesurées dans le cadre d'une surveillance de routine.
- Surveillance des IRA néanmoins réalisée dans le cadre de la surveillance réglementaire, complétée par la surveillance d'expertise mise en place par EDF et déclinée en fonction des milieux surveillés.



Milieu	Compartiment	Analyse	Fréquence
<b>Atmosphérique</b>	Air au niveau du sol (stations AS) – formes particulaires	Spectrométrie $\gamma$ sur cumul de filtres	Mensuelle
	Air au niveau du sol (stations AS) – formes moléculaires	Spectrométrie $\gamma$ suite piégeage sur cartouche de charbon actif	En cas de nécessité
<b>Terrestre</b>	Herbe	Spectrométrie $\gamma$	Mensuelle
	Lait	Spectrométrie $\gamma$	Mensuelle
	Sols	Spectrométrie $\gamma$	Annuelle
	Productions agricoles	Spectrométrie $\gamma$	Annuelle
	Mousses terrestres	Spectrométrie $\gamma$	Quinquennale
<b>Aquatique</b>	Sédiments	Spectrométrie $\gamma$	Annuelle
	Faune aquatique	Spectrométrie $\gamma$	Annuelle
	Flore aquatique	Spectrométrie $\gamma$	Annuelle

+ surveillance décennale en  $^{129}\text{I}$  pour certaines matrices du milieu marin

# Résultat de la surveillance des IRA dans l'environnement

- **Milieu terrestre**

La surveillance radiologique de l'environnement terrestre réalisée depuis plusieurs décennies n'a mis en évidence aucune détection d'iodes, que ce soit dans le cadre de la surveillance réalisée mensuellement par les sites ou dans le cadre du suivi radioécologique annuel (*prélèvements annuels d'herbes, de mousses terrestres, de productions agricoles, de lait*).

⇒ Exceptions faites des détections d' $^{131}\text{I}$  sur certaines matrices dans les semaines post-Fukushima.



- **Milieu aquatique continental**

Des activités massiques très variables et pouvant être ponctuellement relativement élevées en  $^{131}\text{I}$  (*jusqu'à une centaine de Bq/kg sec dans les végétaux aquatiques*) peuvent être mesurées.

⇒ Ces résultats sont principalement à attribuer aux rejets liquides hospitaliers des grands centres de médecine nucléaire (*activités équivalentes à l'amont et à l'aval des CNPE*).



- **Milieu aquatique marin**

Des activités supérieures au SD sont détectées en  $^{131}\text{I}$  dans les algues à des niveaux faibles (*de l'ordre du Bq/kg sec*) et de façon très ponctuelle (*1 détection à Flamanville et 2 à Penly sur la dernière décennie*).

⇒ L'origine de ces détections en  $^{131}\text{I}$  est incertaine, elles peuvent être liées aux rejets d'effluents liquides des CNPE de Flamanville et de Penly, mais il est également possible qu'elles relèvent d'un évènement local, possiblement par les urines d'un patient traité en médecine nucléaire.



# Résultat de la surveillance des IRA dans l'environnement

## A. Milieu terrestre

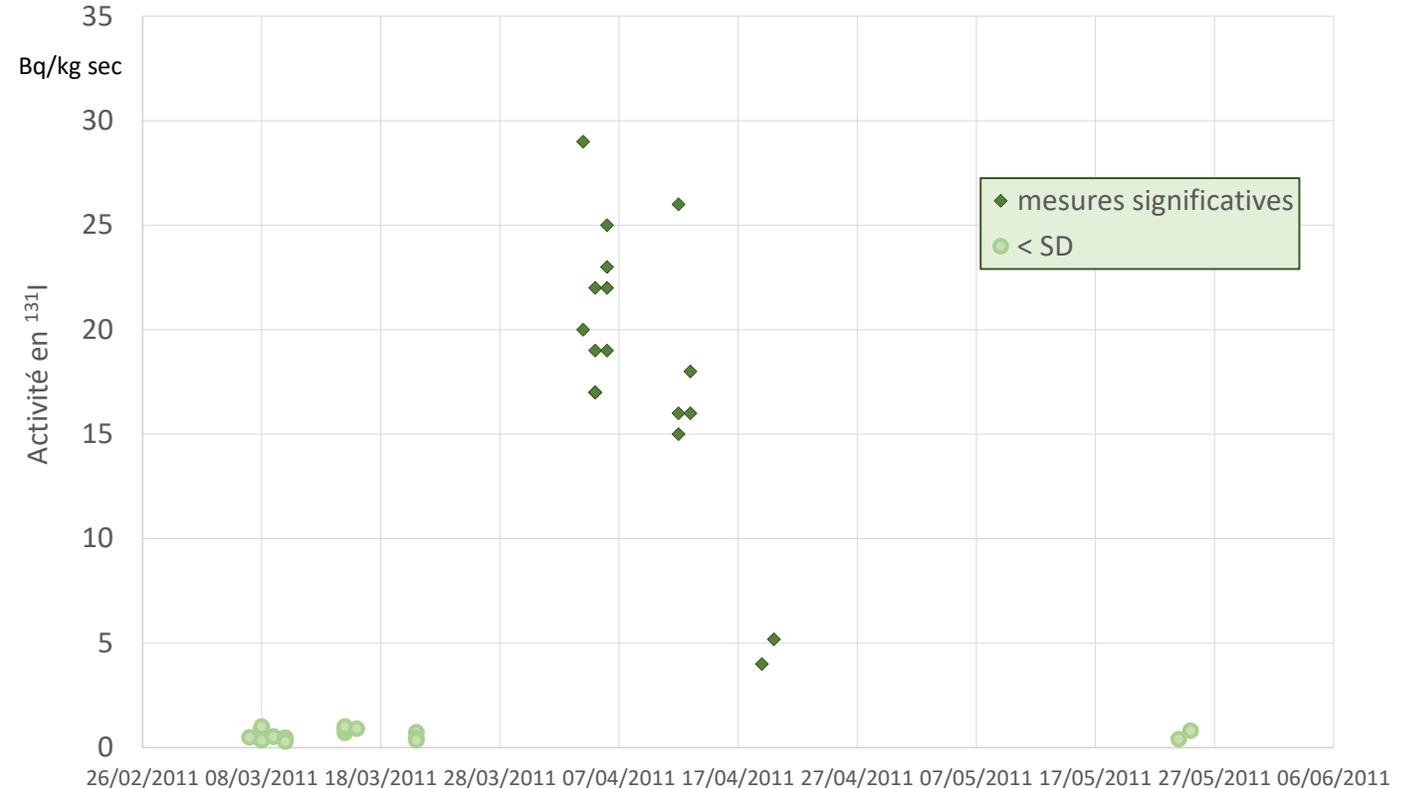


- **Cas des mousses terrestres en 2011**

- Prélévées annuellement dans le cadre du suivi radioécologique,
- Activités  $< SD$  ( $< 1 \text{ Bq/kg sec}$ ) pour les mousses prélevées jusqu'au 21/03/2011
- Activités significatives pour les mousses prélevées de début à mi-avril (*entre 15 et 30 Bq/kg sec*) du fait de l'arrivée des masses d'air contaminées par l'accident de Fukushima pour les sites de la Loire et de la Garonne, ainsi que Penly (*en lien avec la date de prélèvement et non la situation géographique*).
- Retour à des valeurs  $< SD$  pour les mousses prélevées en juin,
- Tendance identique pour les herbes prélevées à la même période.

⇒ Cf. **Présentation dédiée en Session 8** : Surveillance renforcée mise en place en France à la suite de l'accident de Fukushima : cas des iodes radioactifs - Section Environnement de la SFRP.

Activité en  $^{131}\text{I}$  dans les mousses terrestres en 2011

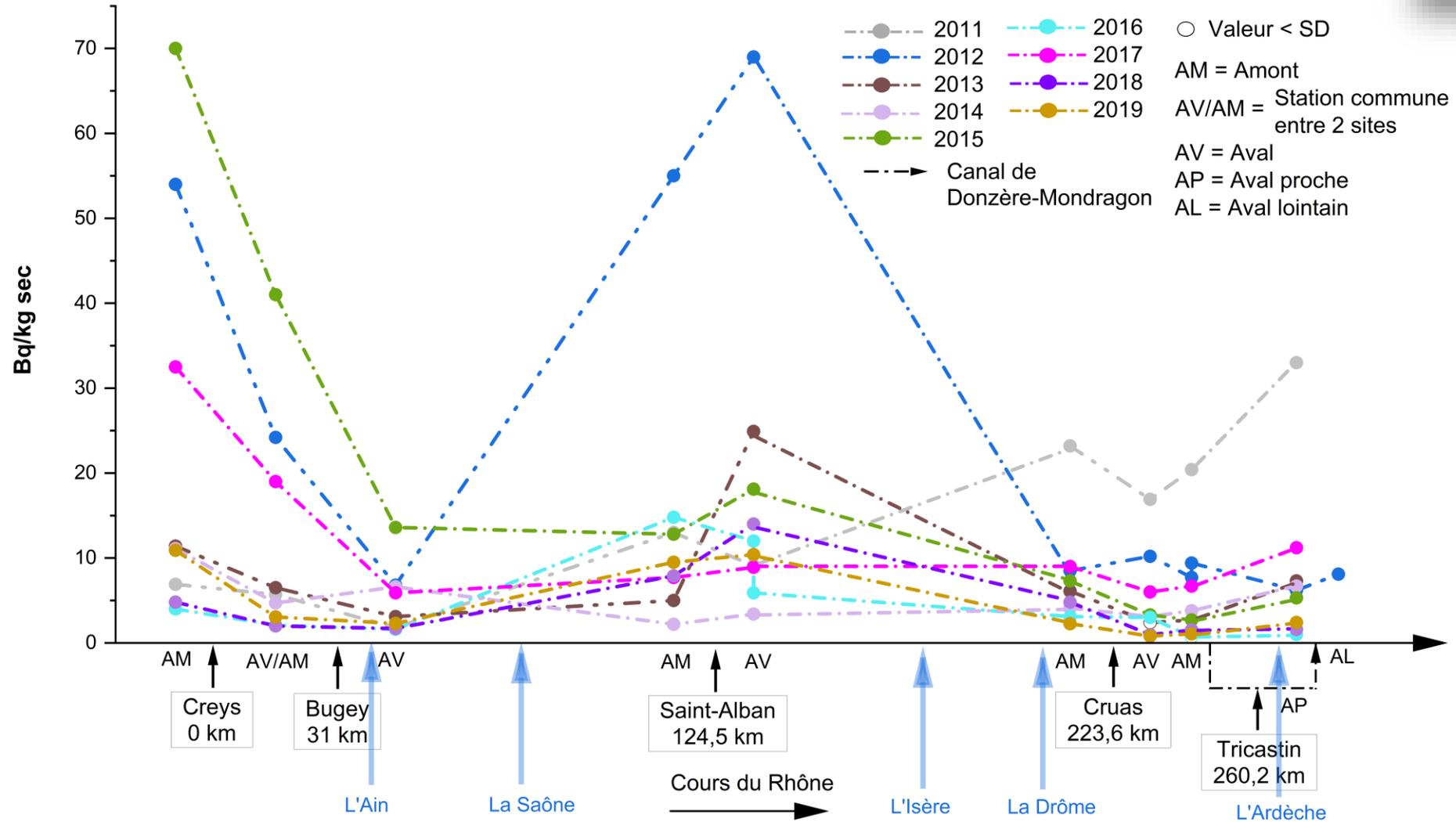


# Résultat de la surveillance des IRA dans l'environnement

## B. Milieu aquatique : Exemple du Rhône



<sup>131</sup>I dans les phanérogames immergées

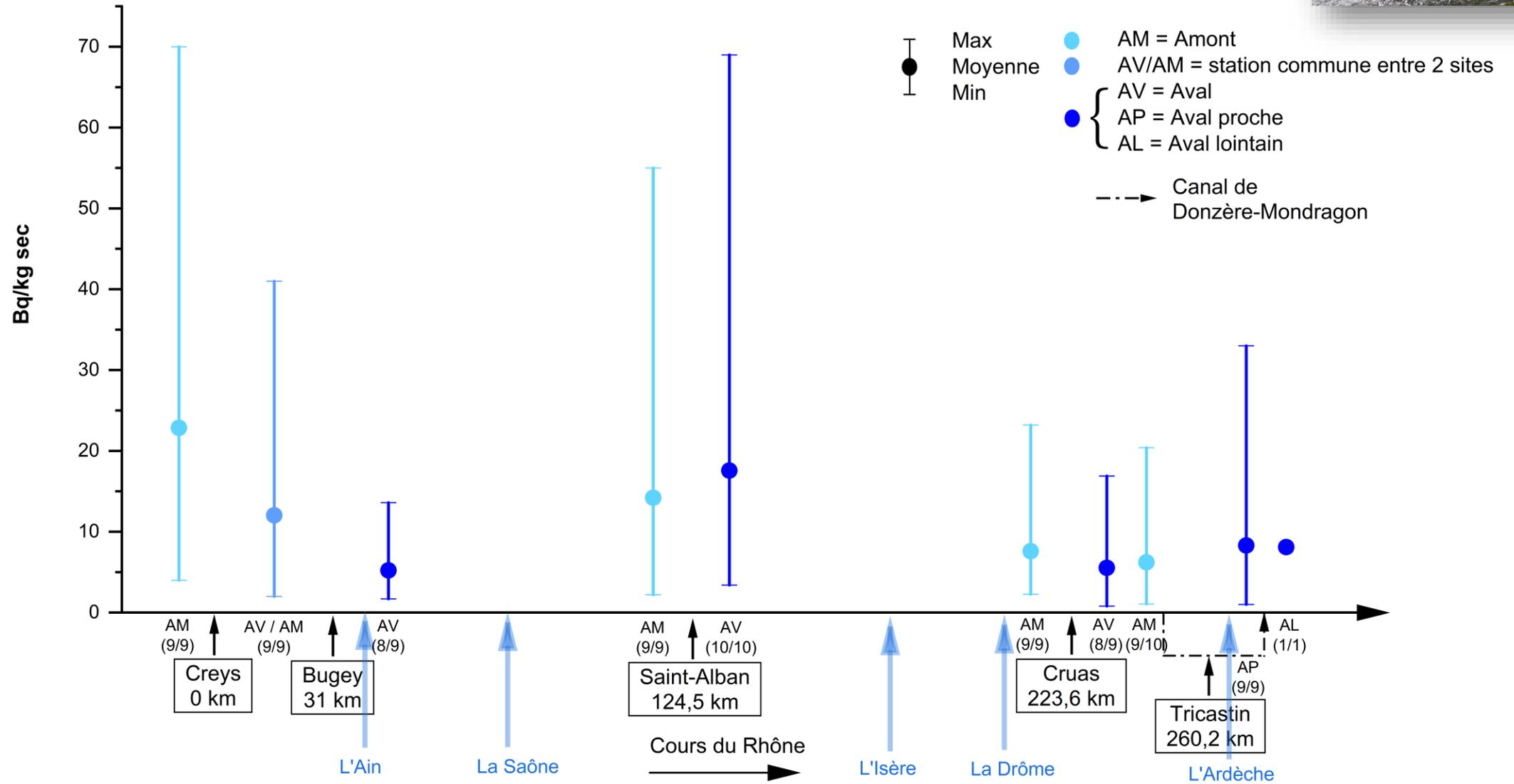


# Résultat de la surveillance des IRA dans l'environnement

## B. Milieu aquatique : Exemple du Rhône



<sup>131</sup>I dans les phanérogames immergées





# Conclusion

En fonctionnement normal, les rejets d'iodes radioactifs des CNPE sont faibles.

- < 0,02 GBq/Tr en moyenne depuis presque 10 ans, pour les rejets « gazeux »,
- # 5 MBq/Tr, majoritairement seuillés, pour les rejets liquides.

Il n'est donc pas surprenant qu'une fois dispersés dans l'environnement, les activités volumiques ou massiques en  $^{131}\text{I}$  soient beaucoup trop faibles pour être mesurées dans le cadre d'une surveillance de routine.

Cependant, en raison du souhait d'EDF de connaître avec précision l'état radiologique de l'environnement autour de ses installations et son éventuelle évolution, mais également en raison de l'importante médiatique des iodes radioactifs, il a été décidé de les suivre dans le cadre de la surveillance environnementale d'expertise mise en place depuis 1992 sur l'ensemble de ses CNPE.

Il en ressort que si la détection des iodes radioactifs ( $^{131}\text{I}$ ) dans le compartiment terrestre reste exceptionnelle, des détections ponctuelles peuvent être faites dans le compartiment aquatique, et notamment fluvial. Les activités mesurées en  $^{131}\text{I}$ , cohérentes en amont et en aval des CNPE, sont principalement attribuables aux rejets liés aux utilisations diagnostiques et thérapeutiques des iodes radioactifs dans les centres/services de médecine nucléaire.



Merci

# Annexe 1 :

## Les limites de rejets d'effluents par voies « gazeuse » & liquide

Limites de rejets d'effluents radioactifs « gazeux » - Exemple du CNPE de Paluel (Cf. Décision ASN 2019-DC-0676)

Paramètres	Activité annuelle rejetée (GBq)
Carbone 14	2 800
Tritium	8 000
Gaz rares	48 000
Iodes	1,2
Autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma	0,2

Paramètres	Débit d'activité par cheminée (Bq/s)
Tritium	$5 \cdot 10^5$ (1)
Gaz rares	$4,5 \cdot 10^6$ (2)
Iodes	$5 \cdot 10^1$ (3)
Autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma	$5 \cdot 10^1$ (3)

(3) Ce débit d'activité peut être dépassé sans toutefois que le débit d'activité pour l'ensemble du site ne dépasse  $2 \cdot 10^2$  Bq/s.

Limites de rejets d'effluents radioactifs liquides – Exemple du CNPE de Paluel (Cf. Décision ASN 2019-DC-0676)

Paramètres	Limites annuelles (GBq)
Tritium	160 000
Carbone 14	380
Iodes	0,2
Autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma	20

Paramètres	Débit d'activité (Bq/s)
Tritium	$800 \times D$
Iodes	$1 \times D$
Autres produits de fission ou d'activation émetteurs bêta ou gamma	$7 \times D$

