



Rejets de tritium et impact autour des centrales EDF

SRFP 23 septembre 2009

V. CHRETIEN - B. LE GUEN

EDF – Division production
nucléaire





Perspectives pour le développement de l'énergie nucléaire

- La communauté internationale confrontée avec :
 - Hausse de la consommation d'électricité dans le monde
 - Nécessaire lutte contre l'effet de serre
 - Épuisement des gisements d'hydrocarbure
 - Prix du baril de pétrole élevés prévisible à terme
 - Contrôle du réchauffement climatique vont contraindre les pays à privilégier les énergies qui n'émettent pas de CO₂
- Un nombre croissant de pays estime que l'énergie nucléaire peut constituer une réponse aux besoins énergétiques futurs
- En France en 2007: 80% de production vient de l'énergie nucléaire

+ 60% de la consommation d'ici 2030 (AIEA)

**40 ans pour le pétrole
70 ans pour le gaz naturel**

**25 réacteurs en construction
220 projets en étude**

- Dans ce contexte du renouveau du nucléaire, diverses associations et rapports pensent que les risques sanitaires liés aux rejets de tritium par les centrales nucléaires ont été sous-estimés : Quels sont les rejets de tritium en France dus aux centrales EDF ?

1. Formation du tritium dans les CNPE

Les principales sources de tritium dans les CNPE :

- Formation **dans le combustible** par fission



Ce tritium reste confiné en quasi totalité dans la gaine du combustible.

- Formation **dans le circuit primaire** par activation neutronique

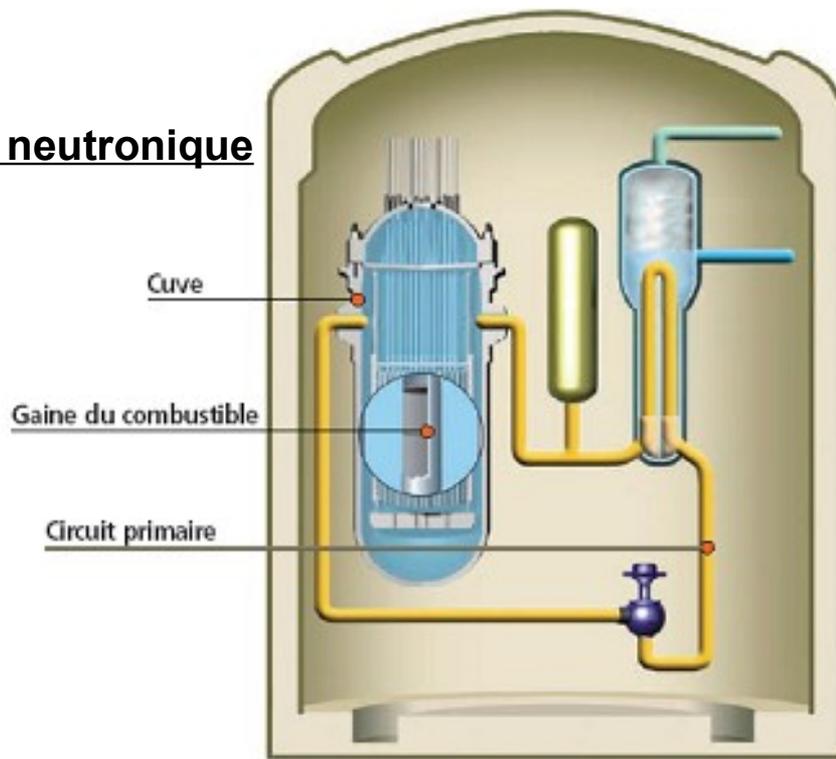
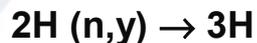
- du bore 10**, utilisé comme modérateur neutronique :



- du lithium**, utilisé comme régulateur du pH :

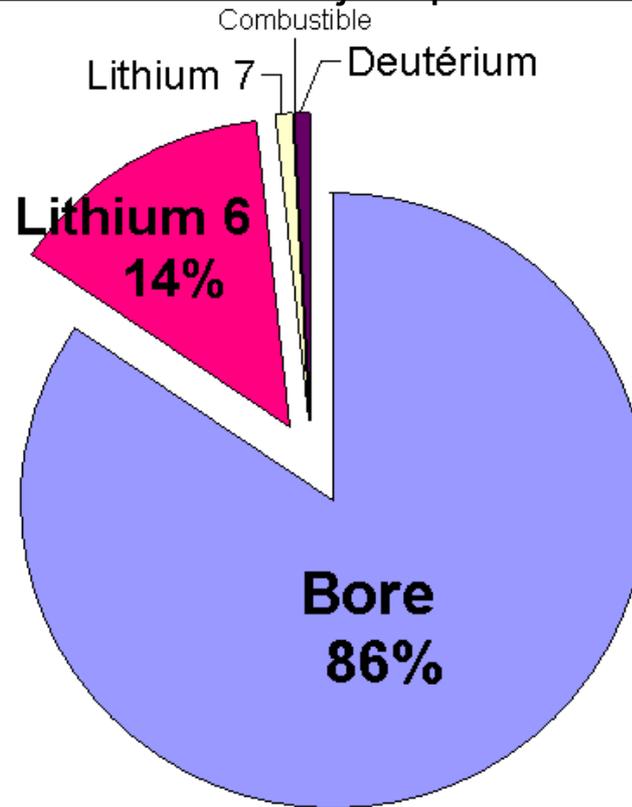


- du deutérium :**



1. Formation du tritium dans les CNPE

Les principales origines du tritium rejeté par les CNPE :



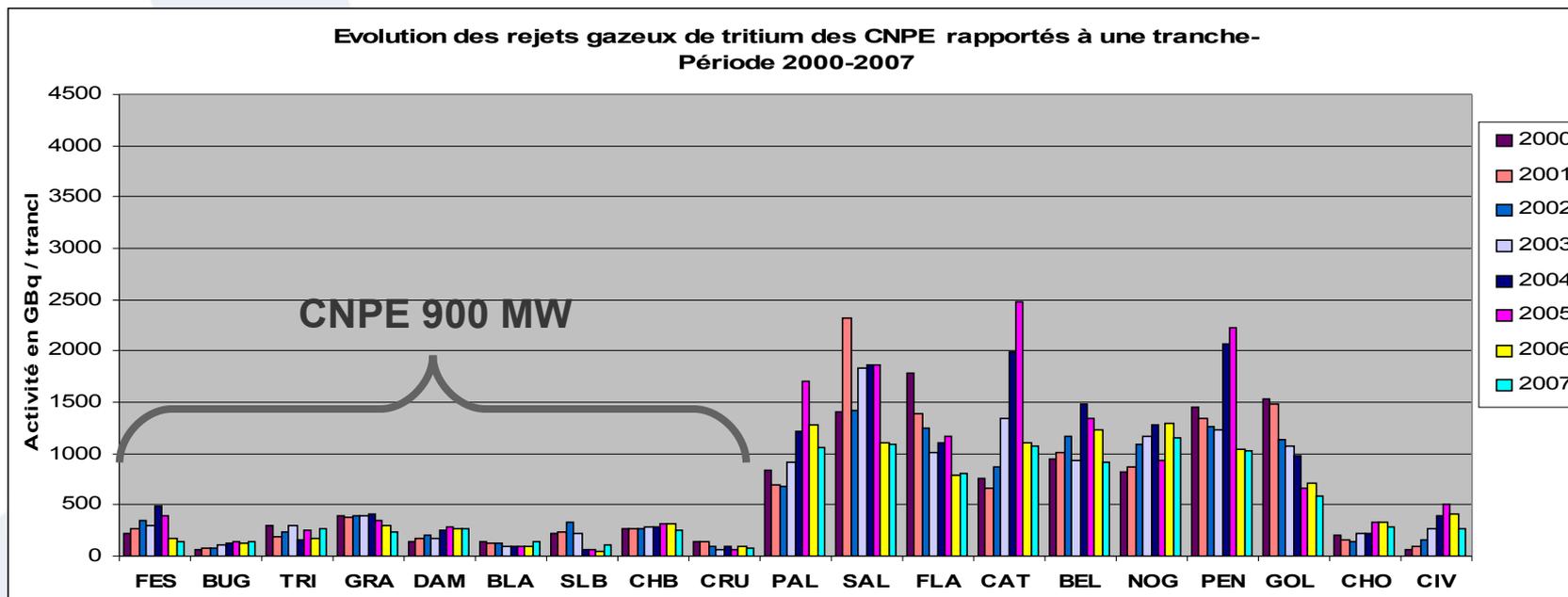
Grappe sources secondaires (GSS)* : cette répartition ne tient pas compte de la contribution des grappes sources secondaires pour les CNPE de 1300 MW et 1450 MW, qui peut représenter de 20 à 40% de la production de tritium dans le circuit primaire.

*Ces Grappes sources sont insérées dans des assemblages en face des chaînes sources et permettent de surveiller la réactivité du cœur en phases rechargement et sous-critique.

2. Rejets de tritium des CNPE

Rejets de tritium gazeux des CNPE par palier

Palier	Nombre de tranches	Rejets moyens de tritium gazeux en TBq/an par tranche en 2008	Limites réglementaires de rejets de tritium gazeux en TBq/an par tranche
900 MW	34	0,2	2
1300 MW	20	0,8	2,5 à 4
1450 MW	4	0,3	2,5

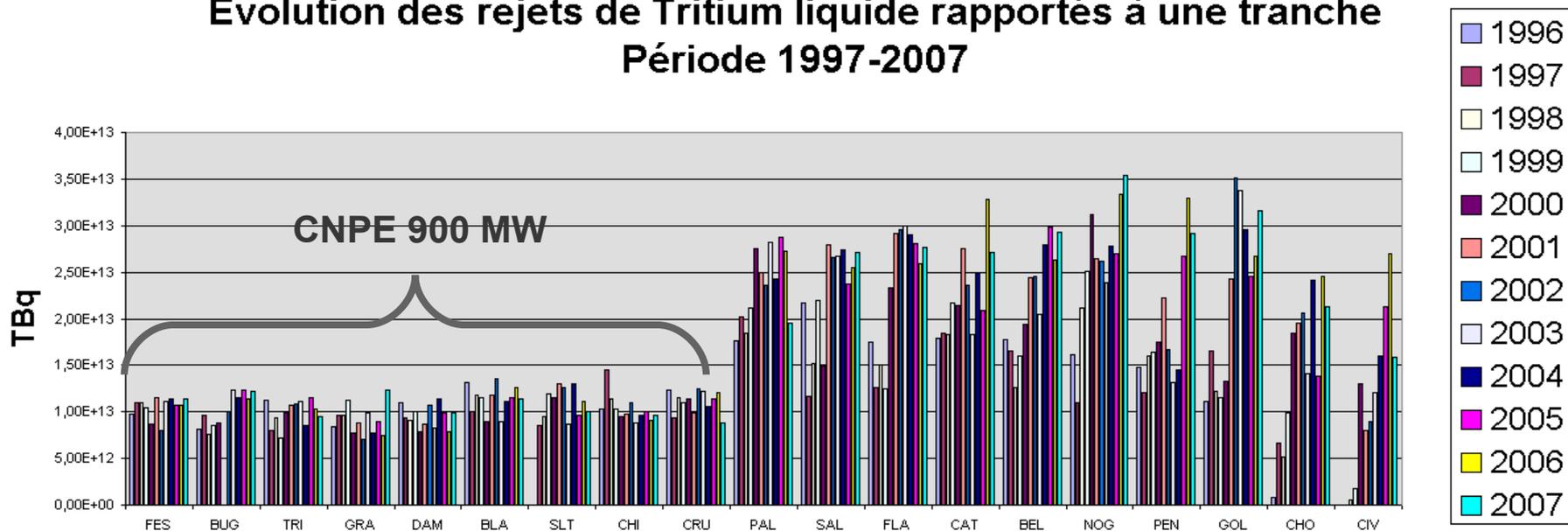


2. Rejets de tritium des CNPE

Rejets de tritium liquide des CNPE par palier

Palier	Nombre de tranches	Rejets moyens de tritium liquide en TBq/an par tranche en 2008	Limites réglementaires de rejets de tritium liquide en TBq/an par tranche
900 MW	34	11	20 ^ 40
1300 MW	20	27	30 ^ 55
1450 MW	4	27	40 ^ 45

Evolution des rejets de Tritium liquide rapportés à une tranche Période 1997-2007





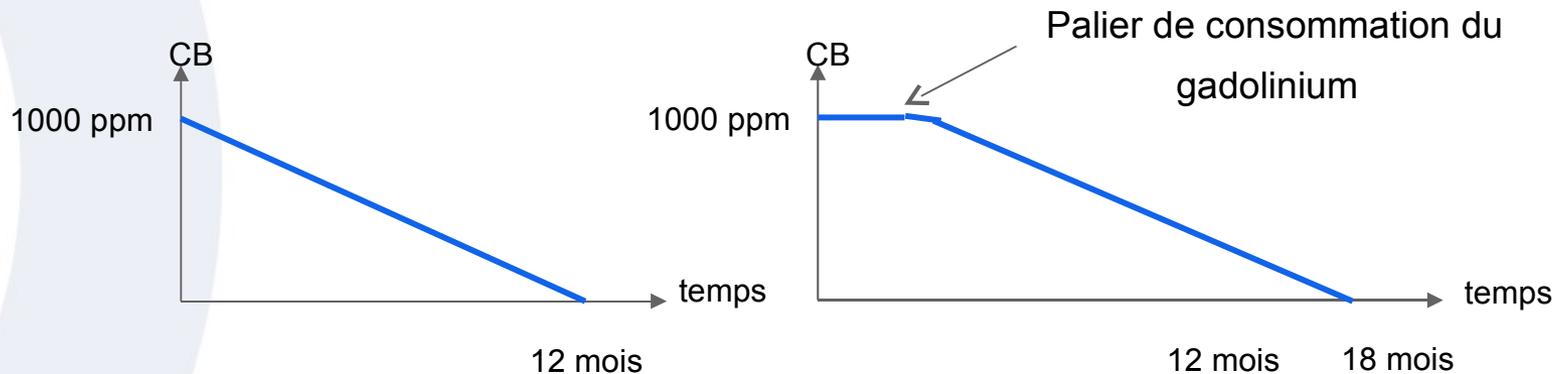
3. Choix d'EDF et actions entreprises pour maîtriser les rejets de tritium

- ⊙ **La production de tritium est directement liée à la production électrique** et il n'existe **de pas de méthode industrielle de piégeage du tritium** pour des concentrations et volumes à traiter comme ceux que l'on rencontre dans les circuits des CNPE.
- ⊙ Par ailleurs, **l'impact dosimétrique des rejets de tritium est plus important sous forme gazeuse que liquide**. Par exemple à Dampierre, la dose efficace reçue par le public est de 0,008 μSv pour un rejet annuel de 1 TBq de Tritium gazeux contre 0,003 μSv pour un rejet de 1 TBq de tritium liquide.
- ⊙ Dans ce cadre, EDF a édicté une **doctrine** de bonne gestion du tritium visant à :

- 1. Réduire au maximum les rejets de tritium par voie atmosphérique et rejeter préférentiellement par voie liquide le tritium produit.*
- 2. Rejeter chaque année tout le tritium produit dans l'année dans le circuit primaire.*
- 3. Ne recycler des effluents primaires tritiés qu'en cas de difficultés liées aux conditions de rejet pendant les périodes d'étiage ou de crue.*
- 4. Déconcentrer le tritium du circuit primaire en cas de fuite primaire/secondaire pour limiter le transfert du tritium vers le circuit secondaire.*
- 5. Eviter la dissémination du tritium dans les bâches ou piscines en arrêt de tranche en réalisant une dilution du circuit primaire en fin de cycle.*

3. Choix d'EDF et actions entreprises pour maîtriser les rejets de tritium

- Par ailleurs, la production de tritium dépend de la puissance, du taux de combustion et de la durée du cycle (période entre 2 rechargements de combustible, qui varie de 12 à 18 mois).
- Impact de la durée du cycle : illustration par la concentration en bore (CB)



Dans les cycles supérieurs à 12 mois, on doit réaliser une insertion de gadolinium (modérateur neutronique consommable) dans les pastilles de certains assemblages, pour limiter la concentration de bore en début de cycle (problème de coefficient de réactivité du modérateur).



3. Choix d'EDF et actions entreprises pour maîtriser les rejets de tritium

- Avantages et inconvénient des cycles longs et de l'enrichissement combustible
 - **Avantage** : meilleure utilisation de la matière nucléaire (en réduisant le nombre d'assemblages irradiés déchargés).
 - Réduction du nombre de transports de combustible utilisé vers l'usine de retraitement, et de la dosimétrie associée.
 - Réduction du volume de déchets.
 - Diminution du nombre d'arrêts, avec pour conséquence principale la réduction de la dosimétrie des personnels intervenants.
 - Augmentation de la production d'électricité d'origine nucléaire (notamment en hiver), limitant ainsi l'appel à d'autres moyens de production générateurs de CO₂.
 - **Inconvénient** : augmentation des rejets de tritium liquide d'environ 25%.

Aujourd'hui EDF privilégie une augmentation de puissance de ses réacteurs de 1300 MW à l'utilisation de combustible à haut taux de combustion (HTC).



3. Choix d'EDF et actions entreprises pour maîtriser les rejets de tritium

- ⊙ En l'absence de méthode industrielle pour piéger le tritium, EDF continue à chercher les **meilleures techniques disponibles** (MTD) pour réduire l'impact de ses rejets de tritium. Par exemple :
 - **Réduction des rejets gazeux** : sur le 1300 MW, modification du débit de la ventilation des bâches de traitement des effluents primaires qui entraînait des rejets gazeux de tritium importants par évaporation. Cette modification, qui s'est achevée en 2009, devrait ramener les sites 1300 MW vers le niveau des sites 900 MW.
 - **Etude de faisabilité du stockage** : EDF a réalisé des études sur la faisabilité du stockage du tritium liquide pour jouer sur la décroissance radioactive. Pour la centrale EPR et les 2 tranches existantes de Flamanville par exemple,
 - Si l'on voulait ne plus rejeter de tritium par voie liquide, il faudrait construire 40 réservoirs de 750 m³ pour chaque année de fonctionnement.
 - Si l'on voulait faire décroître d'un facteur 2 les effluents les plus tritiés, il faudrait stocker l'équivalent de 12 années de production, soit 450 réservoirs de 750 m³, pour un coût de 785 M€ et un gain de 0,02 µSv/an pour le public .

baisse des rejets gazeux de tritium sur les tranches 1300 MW

Ces études ont donc montré qu'un tel stockage du tritium ne pouvait pas se faire à un coût raisonnable.

4. Surveillance du tritium dans l'environnement et mise à disposition des mesures



⊙ Mesures réglementaires de routine

- Chaque année, près de 20 000 mesures réglementaires de tritium dans l'eau sont réalisées autour des CNPE, sur des prélèvements d'eau de mer, de rivière, de pluie, de nappes.
- Près de 800 mesures réglementaires de tritium atmosphériques (prélevé par barbotage de l'air dans l'eau) sont réalisées chaque année.

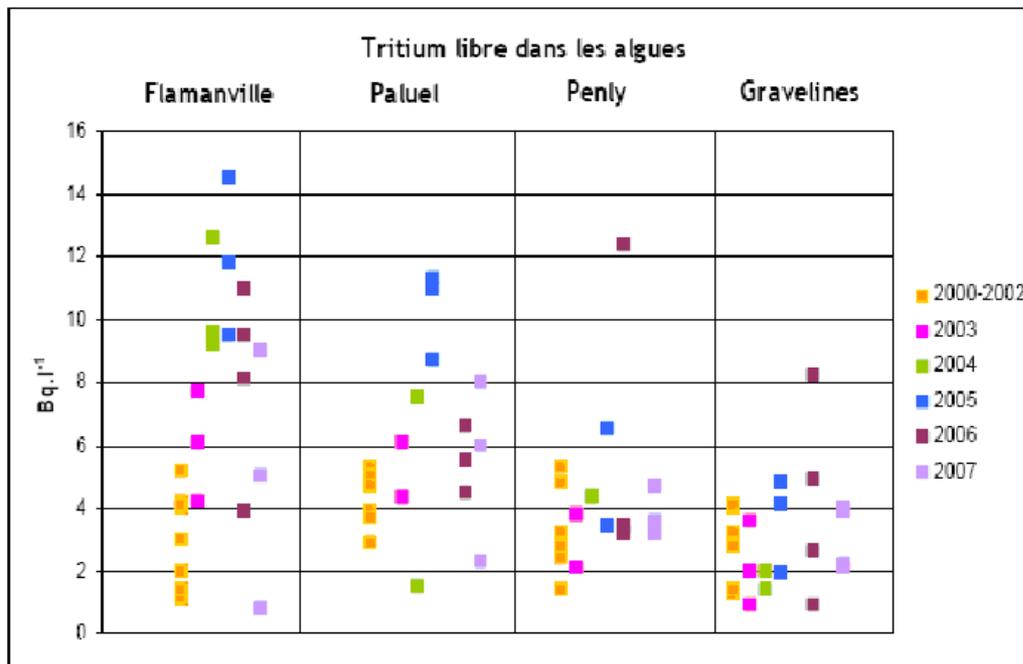
Certains résultats de mesure sont **disponibles sur le site Internet d'EDF** (www.edf.com>la production d'électricité>nucléaire>les centrales nucléaires) ou sur :

<http://energies.edf.com/edf-fr-accueil/la-production-d-electricite-edf/-nucleaire/les-centrales-nucleaires-120223.html>

Depuis février 2009, toutes ces mesures sont réalisées par des laboratoires agréés. Elles seront par ailleurs disponibles sur le site du Réseau National de Mesure en 2010.

4. Surveillance du tritium dans l'environnement et mise à disposition des mesures

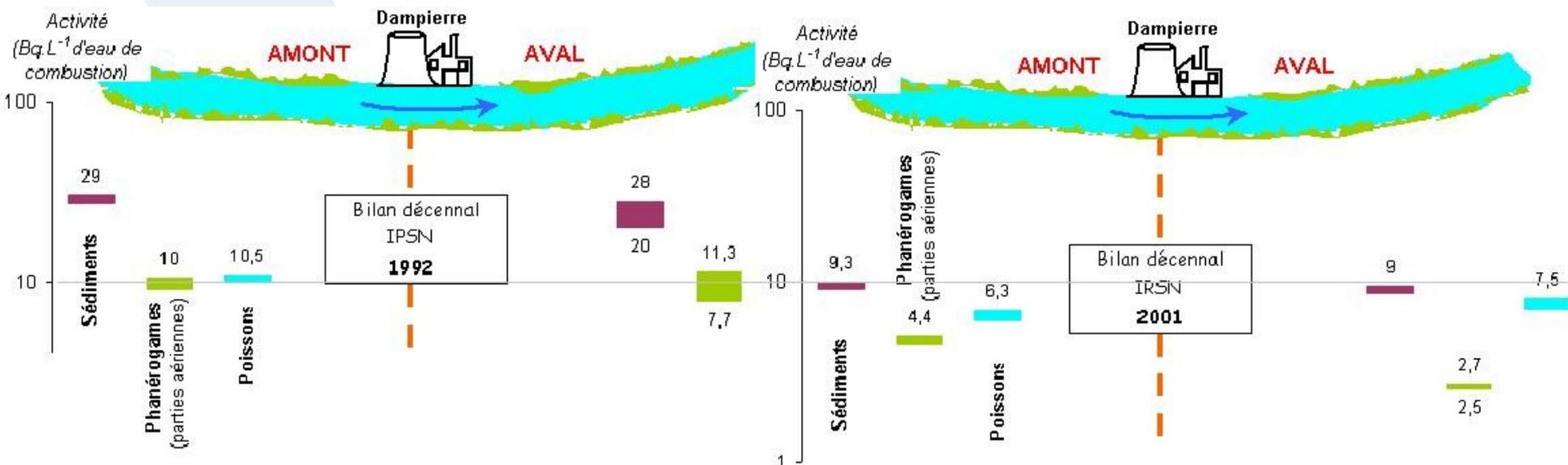
- Mesures de tritium réalisées dans le cadre des suivis radioécologiques annuels et bilans radioécologiques décennaux
 - **Suivis annuels radioécologique** : chaque année un suivi radioécologique, confié à un laboratoire extérieur agréé, est réalisé autour des CNPE. Des mesures sont réalisées dans différents compartiments intégrateurs de la radioactivité. Dans ce cadre **des mesures complémentaires de tritium libre**, ainsi que **quelques mesures de tritium organique**.



Concentrations en tritium libre dans les algues prélevées à proximité des C.N.P.E. en Manche et Mer du Nord entre 2000 et 2007.

4. Surveillance du tritium dans l'environnement et mise à disposition des mesures

- **Bilans radioécologiques décennaux** : tous les 10 ans, des bilans viennent compléter les suivis radioécologiques annuels et mettent l'accent sur des radionucléides à demi-vie longue, non détectés ou difficilement détectés en spectrométrie gamma, **tel que le tritium organiquement lié**.



5. Interprétation des mesures dans l'environnement



⊙ Influence des rejets de tritium gazeux des CNPE



- Peu perceptible sur l'écosystème terrestre car les activités mesurées restent très proches de ceux de la vapeur d'eau atmosphérique sans l'influence industrielle.

- Ainsi, les activités en tritium libre ne dépassent pas, actuellement, 3 à 4 Bq/L. Il en est de même dans la matière organique des végétaux.

- ⊙ Dans l'environnement, le tritium des CNPE est rejeté majoritairement sous forme d'eau tritié (HTO).

- ⊙ **CONCLUSION: après rejet, la forme HTO reste toujours dominante, mais l'activité photosynthétique du phytoplancton en eau douce comme en eau de mer va intégrer progressivement l'eau tritiée à la matière organique,**

5. Interprétation des mesures dans l'environnement

Concentration en OBT

- A l'équilibre, c'est-à-dire dans un environnement exposé à des rejets de tritium continus et constants,

- la concentration en tritium de tous les organismes vivants, exprimée en Bq/g d'hydrogène, **est au plus égale à l'activité spécifique en tritium du milieu (air ou eau)** dans lequel ils vivent, exprimée elle aussi en Bq/g d'hydrogène.

- L'ensemble des mesures de HTO et OBT réalisées sur les végétaux et animaux des écosystèmes terrestres et aquatiques confirment que **le tritium ne se concentre pas dans la chaîne alimentaire.**



5. Interprétation des mesures dans l'environnement

Comment interpréter les mesures ?

⊙ Information ponctuelle

- ⊙ La mesure du tritium libre (HTO) dans l'eau extraite des végétaux fournit une valeur ponctuelle, image de la concentration dans l'eau ou dans l'air ambiant **au moment du prélèvement.**

⊙ Information rétrospective

- ⊙ La mesure du tritium lié à la matière organique (OBT) des végétaux incorporé lors de la photosynthèse et des animaux permet, elle, d'avoir une **information rétrospective** sur l'activité moyenne en tritium de l'eau ou de l'air sur toute la période de formation de la matière organique.



6. Modélisation et évaluation de l'exposition

Résultats du code de calcul BLIQID (rejets liquides) et MIRRAGE (rejets gazeux) pour évaluer l'impact des rejets radioactifs

- En raison de la taille plus grosse de l'atome de tritium par rapport à l'atome d'hydrogène, l'incorporation du tritium à la matière organique est légèrement inférieure à celle de l'hydrogène (= on prend un facteur de 1 dans BLIQID).
- Néanmoins, pour rester enveloppe, les différentes **modélisations** retenues pour calculer l'impact des rejets en tritium des centrales nucléaires **ne tiennent pas compte de cette différence** et considère que les atomes de tritium ont exactement le même comportement que les atomes d'hydrogène lors de la photosynthèse.
- **the new IAEA guideline on models and parameters**
 - Utilisation d'un facteur inférieur à 1, contrairement à BLIQID (**plus enveloppant**).

6. Modélisation et évaluation de l'exposition

La dose annuelle reçue par les personnes du public vivant au voisinage du site est évaluée

- à partir des activités rejetées annuellement
- de différents paramètres liés à l'environnement de chaque site (météorologie, habitudes alimentaires, dilution dans le milieu récepteur...)
- et des différentes voies d'exposition pour l'Homme comme l'ingestion d'aliments et d'eau ou l'irradiation externe (NB: H3 , émetteur β pur....)

CATTENOM

Caractéristiques du Groupe de Référence		Garche nord
Distance (m)		2150
Secteur (°)		220
CTA pondéré (s/m3)		1,35E-07
Ration alimentaire (kg/an) :		
	légumes racines	55
	légumes feuilles	12,5
	légumes fruits et fruits	48,3
	lait	85,1
	viande	45,9
	poisson	0,6

PALUEL

Caractéristiques du Groupe de Référence		Le Tôt
Distance (m)		1450
Secteur (°)		80
CTA pondéré "maquette"		1,91E-08
Ration alimentaire (kg/an) :		
	légumes racines	57
	légumes feuilles	13
	légumes fruits et fruits	52,5
	lait	93,9
	viande	43,6
	poisson	18,3
	crustacés	8,4
	mollusques	8,4

GAZ	Fonctions de transfert (pSv/Bq)		LIQUIDE	Fonctions de transfert (pSv/Bq)	
	Dose efficace	Dose efficace		Dose efficace	Dose efficace
	Incorporation	Irradiation		Incorporation	Irradiation
H3	2,48E-09	0,00E+00	H3	1,78E-08	0,00E+00

GAZ	Fonctions de transfert (pSv/Bq)		LIQUIDE	Fonctions de transfert (pSv/Bq)	
	Dose efficace	Dose efficace		Dose efficace	Dose efficace
	Incorporation	Irradiation		Incorporation	Irradiation
H3	3,42E-08	0,00E+00	H3	9,01E-11	0,00E+00



6. Modélisation et évaluation de l'exposition

- Exemple pour un site marin
- Des niveaux de dose pour le "**groupe de référence**" ont été calculés pour un adulte consommant des produits marins pêchés dans un rayon de 500 m autour de la centrale.
- Le modèle inclut des expositions externes due à 100h/an d'exposition sur la plage et 20 h/an de baignade avec ingestion potentielle d'eau de mer (1L/an).
- Le modèle considère d'une part le tritium sous forme d'eau tritiée d'autre part le tritium incorporé à la matière organique par photosynthèse.

- **CONCLUSION:** La dose totale autour des CNPE pour la population calculée à partir des rejets (ensemble des radionucléides) varie suivant les sites et reste entre < à 1µSv et largement < à 10 microsievert par an pour l'adulte.
- Dans le calcul de dose due au tritium, **Le tritium sous forme OBT intervient à hauteur de 15 %**

6. Modélisation et évaluation de l'exposition

Exemple pour la dose due au tritium Un cas spécial : les pêcheurs

- ◎ Pour un site marin, les quantités de produits de la mer ingérées peuvent néanmoins être **plus élevées pour certains groupes socioprofessionnels comme les pêcheurs.**

- **sur le site de Flamanville**, l'étude d'impact réalisée pour les demandes d'autorisations de rejets pour le site EPR estime que les doses dues au tritium liquide, en tenant compte des «rejets maximaux», est évaluée :

- **à environ 0,014 microsievert /an pour le «groupe de référence »** (0,008 microsievert (tranches I-2) + 0,006 microsievert (EPR))
- **à 0,037 μ Sv/an pour le «groupe pêcheur »**, (0,022 microsievert (tranches 1-2) + 0,015 microsievert (EPR)).





6. Modélisation et évaluation de l'exposition

Une évaluation sur l'impact des rejets radioactifs sur les organismes marins :

- ⊙ D'après l'étude Marina II (Marina II, 2002), la contribution du tritium à la dose collective délivrée à la population de la zone OSPAR est actuellement de moins de 1% de la dose totale due aux rejets de l'industrie nucléaire.
 - ⊙ En utilisant la méthodologie développée par le projet européen (ERICA, 2007), pour chaque radionucléide, basé sur les concentrations observées de 1995 à 2005 –les doses absorbées par les organismes marins dans toutes les régions du nord Océan atlantique.
- ⊙ **Dans le secteur de la Hague ou dans les secteurs Manche et mer du nord, les doses dues au tritium**
 - ⊙ sont 100 fois inférieures à celles dues au césium 137,
 - ⊙ elles-mêmes 100 fois plus basses que les doses dues au radium 226 ou du polonium 210 (radionucléides d'origine naturelle)



7. Recherches soutenues par EDF

- ◎ le rapport AGIR 2007 : EBR de l'OBT remis en cause
 - Mais le poids relatif des résultats des études concernant la thymidine tritiée dans l'estimation de l'EBR
 - les deux études citées, relativement anciennes, concernent le même organe, le testicule et pratiquement le même tissu. Il s'agit là d'un tissu à renouvellement rapide **où de nombreuses cellules sont constamment en phase de prolifération.** => difficulté d'étendre ces résultats obtenus à tous les autres tissus d'un organisme en particulier à renouvellement plus lent.
 - **NB: HTO se répand dans toutes les cellules sans préjugé de leur statut répliatif.** Toutes les cellules accumuleront alors des dommages dans tous les compartiments (dont le noyau).
- ◎ Il semble donc difficile d'imaginer un effet comparable entre l'HTO et l'OBT (h3-Thymidine) dans tous les tissus hormis certains à renouvellement rapide comme le testicule.

- ◎ **C'est en voulant répondre à ce type de question qu'EDF en 2006 a décidé de relancer et de soutenir les recherches sur le tritium sous toutes ces différentes formes, dont les premières publications commencent à paraître : article dans Radiation Research et prochaine lettre « Nucléaire et Santé et Actualités »**