

# Moyens mobiles de surveillance de la contamination atmosphérique du Bâtiment Réacteur des CNPE EDF

Mesures opérationnelles en Radioprotection dans  
les milieux industriels et médical

LA HAGUE

17 et 18 novembre 2009

S. MARQUES et M. LESTANG

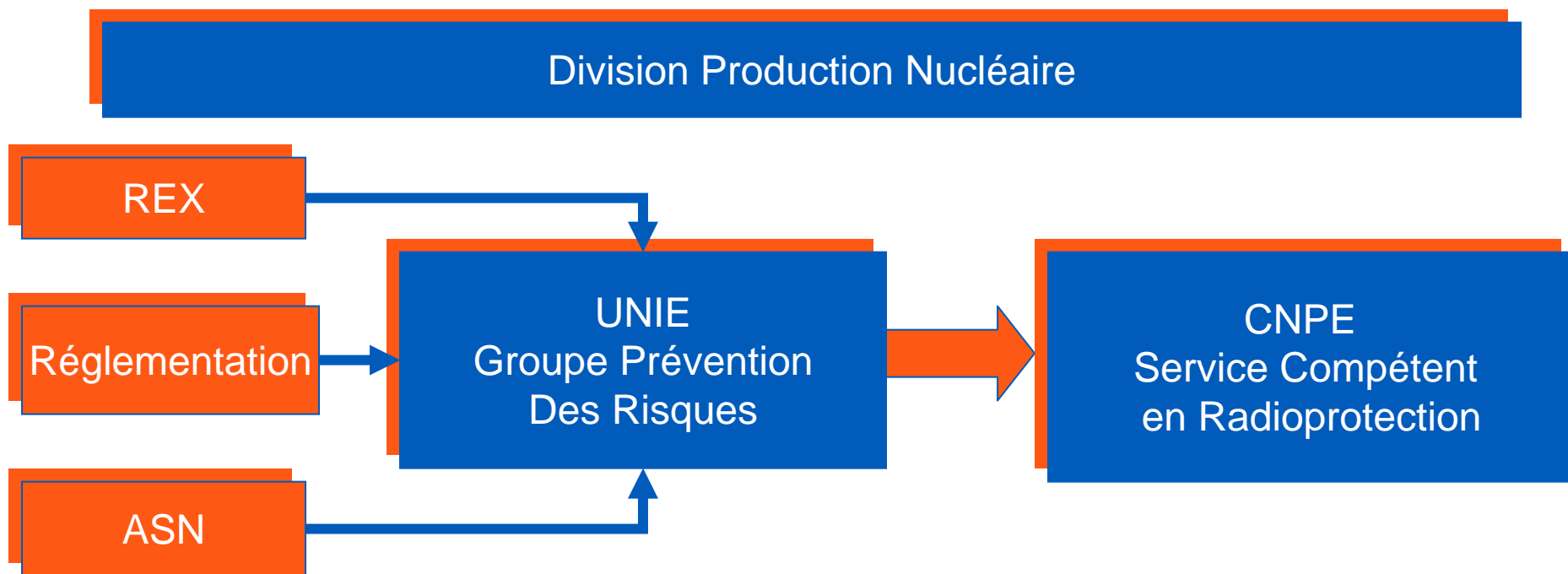
UNité d'Ingénierie d'Exploitation

Groupe Prévention des Risques



# Introduction

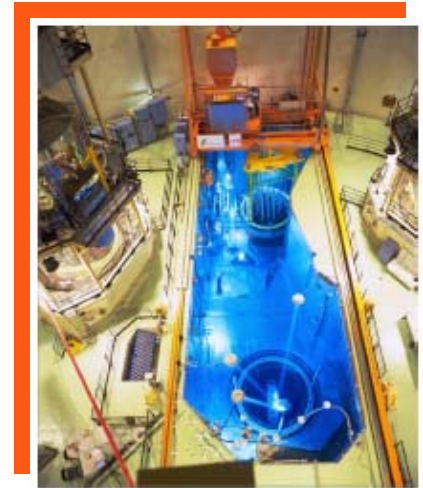
- ▶ Organisation EDF dans le rôle de la surveillance en Radioprotection des CNPE
  - Référentiel Radioprotection (12 thèmes : Management et organisation, Maîtrise des chantiers, Métrologie...),
  - Notes Prescriptives associées à des guides d'applications par thème



# Contexte et enjeux de la surveillance

## ► Contexte

- L'exploitation des réacteurs nucléaires nécessite des opérations de maintenance périodiques impliquant des interventions sur les circuits véhiculant du fluide contaminé et entraînant des risques d'exposition interne et externe des intervenants.
- De nombreux chantiers à risques de dispersion de contamination (GV, Cuve, pompes...) sont réalisés dans le BR lors des arrêts de tranche impliquant un nombre important d'intervenants.



## ► Enjeux de la surveillance de l'exposition interne reposent sur:

- Le respect des limites d'exposition fixées par la réglementation,
- L'optimisation de la RP des intervenants
  - pour l'ensemble du BR impliquant une surveillance « globale »,
  - au niveau des chantiers impliquant une surveillance de « proximité ».

# Terme Source

- Les principaux radionucléides présents dans les circuits constituent une source potentielle de contamination atmosphérique.
- Ils se présentent sous forme gazeuse et sous forme d'aérosols :

	Eléments	Caractéristiques
Produits de fission	85 Kr	Sous forme gazeuse ou dans le fluide primaire
	133 Xe	
	131 Iode	Sous forme gazeuse, soluble, aérosols
Produits d'activation	60 Co	impûretés dans les alliages
	58 Co	impûretés dans les alliages
	124 Sb	impûretés du gainage
	110 <sup>m</sup> Ag	joints
	54 Mn	provenant des structures
	59 Fe	provenant des structures
	51 Cr	provenant des structures
63 Ni	provenant des structures	

95%  
des  
doses

# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► La mesure peut être réalisée:

### ■ En différé pour les mesures d'activité sur les prélèvements réalisés avec des aspirateurs :

#### ■ Utilisation:

- Prélèvements ponctuels sur chantiers.
- Évaluation des risques, mesures contradictoires

#### ■ Principe de la mesure:

- Cumul d'aérosols collectés sur un filtre et de l'iode collectée sur cartouche à charbon,

#### ■ Matériel de prélèvement utilisé en CNPE:

- **STAPLEX, RADECO, PROMINDUS, FAVORIT, BAUDART...**
- Débit volumique entre 100 et 380 l/min

#### ■ Matériel de mesure de l'activité (sur chantier):

- Contaminamètres grande surface: **COMO 170**
- Passeur d'échantillons blindés: **NT 200**

#### ■ Matériel de mesure laboratoire chimie:

- Passeur automatique pour comptage bêta total,
- Spectrométrie gamma,
- Radiochimie.

#### ■ Vérification périodiques des aspirateurs:

- Contrôle de bon fonctionnement: Avant utilisation
- Contrôle périodique Intermédiaire: 12 mois
- Contrôle périodique de l'étalonnage: 36 mois



STAPLEX

PROMINDUS



RADECO



# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► La mesure peut être réalisée:

### ■ En continue avec les moniteurs tels que les balises mobiles.

#### ■ Utilisation:

- Surveillance des chantiers
- Surveillance globale

#### ■ Principe de la mesure:

- Mesure différentielle basée sur l'augmentation de l'activité d'un piège à iode, d'un filtre ou d'un volume pour les gaz.
- Compensation gamma par voie de garde ou blindage en Pb et radon par spectrométrie pour les aérosols.

#### ■ Matériel mobile essentiellement utilisé en CNPE:

- **Balises Aérosols:** *BAB 1 – BABA - BA33 - ABPM 203M*  
DéTECTEURS (voie mesure et garde) Diode Si passivée implantée  
Etendue de mesure  $\beta$ : 1 Bq/m<sup>3</sup> à 1 MBq/m<sup>3</sup>
- **Balises Iodes:** **IM 201 M**  
DéTECTEUR: Scintillateur NaI + blindage Pb  
Etendue de mesure: 3,7 Bq/m<sup>3</sup> à 37 MBq/m<sup>3</sup>
- **Balises Gaz:** *NGM 304 M - NGM 209M*  
DéTECTEURS (voie mesure et garde): Diode Si passivée implantée  
Etendue de mesure: 37 kBq/m<sup>3</sup> à 37 GBq/m<sup>3</sup>

#### ■ Vérification périodiques:

- Contrôle de bon fonctionnement: lors du CPI
- Contrôle Périodique Intermédiaire: lors de la mise en service
- Contrôle Périodique de l'Etalonnage: 36 mois



ABPM 203M – NGM 209M – BABA



IM 201M

# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► Représentativité des prélèvements d'aérosols

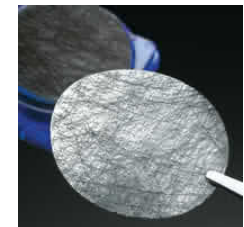
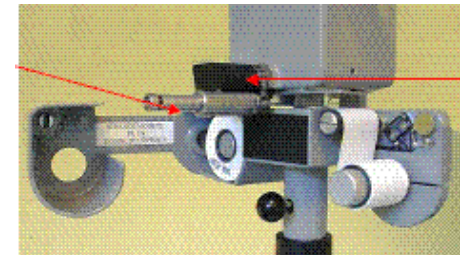
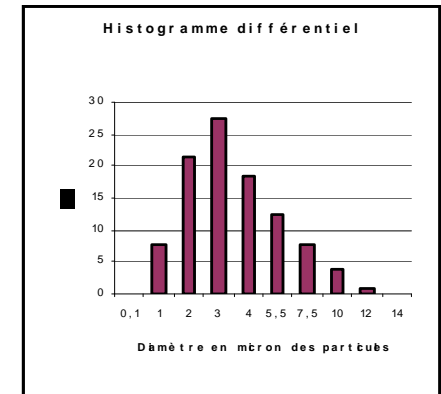
Elle dépend:

### ■ De la distribution granulométrique de l'aérosol et de son comportement dynamique dans l'environnement:

- Fonction du DAM de l'aérosol, caractérisé son écart type géométrique,
- Phénomènes de sédimentation, remise en suspension, impaction, précipitation électrique et thermique...
  - En CNPE on considère un DAMA de 5  $\mu\text{m}$ , toutefois il peut varier de l'ordre de 3 à 4  $\mu\text{m}$  en fonction des activités.

### ■ Du rendement de prélèvement de l'appareil dépendant:

- Du diamètre de coupure de la tête de prélèvement:
  - géométrie de la tête de prélèvement,
  - débit de prélèvement.
- Des différents dépôts dans le circuit aéraulique,
- Du choix du média filtrant:
  - Membrane téflon, fibre de verre, fibre de cellulose (Papier), fibre polypropylène.
  - Il dépend:
    - du type de mesures à réaliser: (Comptage  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta$  - Spectro.  $\alpha$ ,  $\gamma$  - Radiochimie)
    - du rendement de filtration des filtres: P3 - Rf > 99,9%, particules de 0,15 à 0,3 $\mu\text{m}$ ,
  - En CNPE nous retrouvons essentiellement:
    - Filtres MILLIPORE type FSLW2 (Téflon + Polypropylène)** pour les ABPM 203 M,
    - Filtres CAMFIL ou Bernard DUMAS (Papier jaune)** en rouleau pour les moniteurs type BABA et en disques pour les aspirateurs.



# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► Représentativité des prélèvements d'aérosols

Elle dépend également:

### ■ Des conditions ambiantes:

- essentiellement l'humidité pour les aérosols,

### ■ Du positionnement du préleveur vis à vis:

- des ventilations du local, le flux d'air créé par les ventilations influencent l'efficacité de collecte,
- du point d'émission de la contamination et de son coefficient de transfert,
- des éventuelles « zones mortes » des locaux, répartition hétérogène de la contamination.
  - En CNPE le BR dispose de ventilations efficaces (EVR) permettant un brassage de l'air favorisant l'homogénéité de la concentration des aérosols et des gaz.

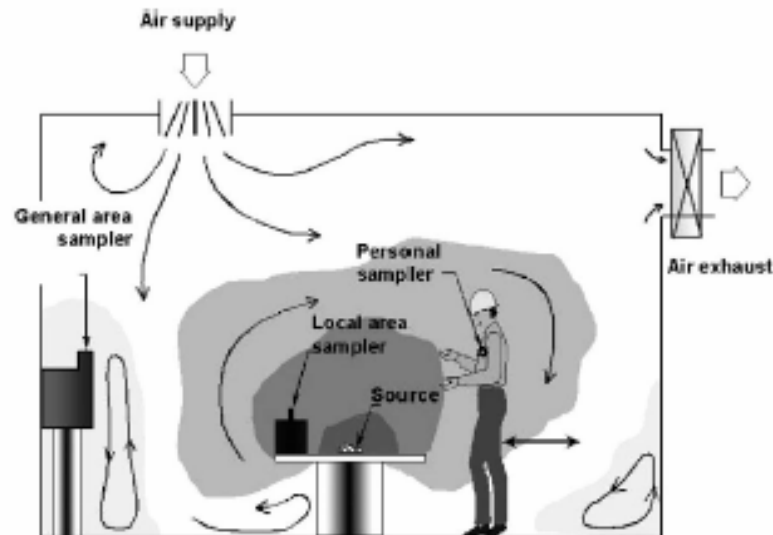


Figure B6 extraite de l'annexe B.5  
du GUIDE 3 de la CIPR



# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► Représentativité des prélèvements d'aérosols

### ■ Programme d'expérimentations en relation avec l'IRSN DSU SERAC

- |         |   |
|---------|---|
| (DSU)   | Direction de la Sûreté des Usines des laboratoires, des transports et des déchets   |
| (SERAC) | Service d'Etudes et de Recherches en Aérodispersion des polluants et en Confinement |

### Avec le Laboratoire de Physique et de Métrologie des Aérosols (LPMA)

#### ■ Caractérisation de l'efficacité d'échantillonnage des préleveurs et des moniteurs d'aérosols

- Dans différentes conditions de ventilation (taux de renouvellement faible et fort).
- Pour différentes granulométrie d'aérosols (1,9  $\mu\text{m}$  et 6,5  $\mu\text{m}$ ).
- Pour les balises de chantier mobiles: BAB-A ; ABPM 203M et les aspirateurs: FAVORIT,
- Premiers résultats:
  - L'ABPM 203 M et les BAB-A (efficacité entre 74% et 90%), suivent la convention inhalable. Variations de quelques % de l'efficacité lorsque le taux de renouvellement de l'air augmente.
  - Les efficacités des aspirateurs sont importantes entre 220 et 250%. Elles ne dépendent pas de la granumométrie et diminuent pour un taux de renouvellement important.

### Avec le Laboratoire d'Expérimentations en Confinement, Epuration et Ventilation (LECEV)

#### ■ Caractérisation de l'homogénéité de l'air et des temps de transfert des aérosols (1 $\mu\text{m}$ et 5 $\mu\text{m}$ ) dans les BR du type 900 MW et 1300 MW.

- Premiers résultats d'essais réalisés sur le CNPE de CRUAS en juin 2008.
  - Détection d'une zone moins bien ventilée en partie basse du BR.
- Des nouveaux essais sont prévus sur le 1300 MW début 2010.
- Ces essais devraient permettre la validation de codes de calculs développés par l'IRSN en partenariat avec EDF R&D.
  - Maillage des BR afin de modéliser les coefficients de transferts de la contamination.

# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► Problématique de la mesure des aérosols avec les balises ABPM 203M

### ■ Influence du radon sur la mesure:

- Augmentation du temps de réponse fonction de l'activité radon ambiante,
- Difficultés de compensation du radon dans des atmosphères fortement empoussiérées,
  - Les CNPE rencontrent peu de problèmes notables à ce niveau.

### ■ Sensibilité au bruit de fond ambiant:

- Influence BDF sur le temps de réponse:
  - Environ 1 h pour détecter 30 Bq/m<sup>3</sup>, dans 10 µGy/h et 10 Bq/m<sup>3</sup> de radon,
- Influence des variations rapides d'ambiance:
  - provoquent des pics de comptage
    - alarmes intempestives avec évacuation du BR,
    - pertes de la mesure suite à une avance papier automatique,

### ■ Parades:

- Placer les balises dans des zones à faible débit de dose,
  - Placer des écrans en Pb autour des balises,
  - Constituer des zones interdites à l'entreposage d'éléments radioactifs (sacs de déchets) autour des balises,
- Actuellement un **KIT de blindage de la tête de détection** est en cours d'étude.  
Il devrait permettre de se rapprocher des chantiers en limitant l'influence du BDF.

# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► Problématique de la mesure des aérosols avec les balises ABPM 203M

### ■ Sensibilité aux vibrations mécaniques et aux perturbations électromagnétiques et électriques:

- Provoquent des pics de comptages avec des risques d'alarmes intempestives

#### ■ Parades:

- Placer les balises sur des tapis caoutchoucs antivibrations (tapis de mousse) et en dehors des caillebotis qui propagent les vibrations.
- A distance des sirènes d'alarmes et des postes de soudure.
- Rajout d'un onduleur (filtration des perturbations électriques du réseau).
- **Evolution de l'algorithme** de la balise afin de supprimer numériquement les pics parasites.
  - En relation avec EDF GPRE, MGPI a procédé à une évolution de l'algorithme après validation du comportement de la balise par simulations numériques.
  - Les résultats des essais sur CNPE ont permis de démontrer la pertinence de ces évolutions.

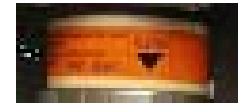
# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► Représentativité des prélèvements d'iode

### ■ Les prélèvements sont réalisés sur des cartouches à charbon

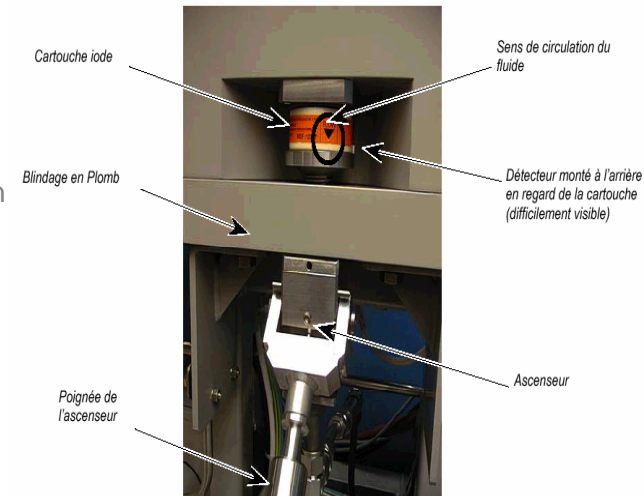
#### ■ Constitution:

- **Charbon végétal** imprégné à 1% de Tri Éthylène DiAmine (TEDA).
- Épuration des halogènes, dont l'iode, sous forme gazeuse.
- Efficacité de piégeage de l'iode moléculaire pour 35 l/min: 99,8% à 40% HR



#### ■ Problématique d'utilisation du charbon :

- Il est hydrophobe
  - L'efficacité de collecte diminue avec l'augmentation d'humidité dans l'air.
  - Peu sensible entre 30% et 40% HR et devient très importante vers 70% HR.
- Effets de saturation
  - Quantité limitée: environ 1 mg d'iode par gramme de charbon.
  - Piégeage des solvants et des gaz présents dans l'air.
- Effets de désorption
  - Peut être provoqué par une élévation de température conséquente, associée à un balayage. Température maxi 60°C.
- Le taux d'absorption peut varier
  - Dépend du temps de contact avec l'adsorbant,
  - Plus la vitesse de passage est faible, plus l'efficacité augmente.
  - Débit recommandé 50 l/min.
- Phénomène de vieillissement lié à la durée d'utilisation
  - Nécessite d'être vigilant au niveau du stockage et de la date de validité.
  - En exploitation il est nécessaire de remplacer la cartouche périodiquement (1 fois par semaine fonction des conditions ambiantes).
- La répartition graduelle de l'iode dans l'épaisseur de la cartouche peut avoir une influence sur la mesure de l'activité (problème de géométrie).



# La mesure de la contamination atmosphérique

## ► Représentativité des prélèvements de gaz

- Les prélèvements sont réalisés dans des volumes de mesure
  - volume de détection de la balise.
- Les fuites de gaz en arrêt de tranche sont très ponctuelles
  - libération sous forme de poche suite à l'ouverture du circuit primaire.
- Les gaz diffusent rapidement dans l'enceinte du BR et la concentration se trouve diluée dans le volume.
  - Volume = 50 000 m<sup>3</sup> dans un BR 900MW
- La représentativité du prélèvement, soit l'évaluation de la concentration maximum libérée au niveau du chantier (fuite ponctuelle) va dépendre de la proximité de la balise par rapport à la fuite.
- L'indication sera ensuite représentative de l'activité libérée diluée dans le volume du BR.



## ► Remarque sur les risques d'exposition interne pour les gaz en CNPE

- Les <sup>133</sup>Xe et <sup>85</sup>Kr ne sont quasiment pas assimilés par l'organisme vivant.
- Ce sont essentiellement les risques d'exposition externe par immersion qui sont prépondérants.
  - En CNPE, les balises gaz sont utilisées essentiellement lors de l'ouverture cuve BR.
  - Leur utilisation n'est pas prescriptive dans le référentiel RP pour les chantiers, les chaînes fixes de radioprotection (KRT) assurant la fonction de surveillance globale du BR.
  - Pour les gaz comme le <sup>133</sup>Xe, l'alarme en débit de dose du dosimètre opérationnel individuel constitue un vecteur d'alarme individuel également utilisé pour avertir les intervenants.

# Unités de mesure

## ■ Dose efficace engagée Par Unité Incorporation (DPUI)

- Des coefficients de doses ont été définis de façon à pouvoir estimer l'équivalent de dose à l'organe en fonction de l'activité incorporée (DPUI) (Publications CIPR 68 et 72),
- Les tableaux de l'arrêté du 1<sup>er</sup> septembre 2003 donnent des valeurs de DPUI (pour l'ingestion et pour l'inhalation),
- L'unité permettant une mesure opérationnelle choisie par EDF est la LDCA Recalculée pour 2000 heures de travail (La durée peut être revue à la baisse en fonction des analyses de risque du métier),

$$\text{LDCAr (Bq/m}^3\text{)} = \frac{\text{Limite de dose (Sv)}}{\text{DPUI (Sv/Bq)} \times 1,2 \times 2000}$$

## ■ Radionucléides de référence EDF :

- Pour les aérosols : Le <sup>60</sup>Co sous forme d'oxyde, type S, 5 µm est retenu (radionucléide le plus pénalisant du mélange rencontré),  
Le REX des incidents de contaminations internes montre un devenir secondaire sur le modèle de l'ingestion, ce qui suppose un DAMA supérieur à 1µm.
- Pour les gaz : <sup>133</sup>Xe gaz inerte
- Pour les iodes : <sup>131</sup>I sous forme gazeuse

## ■ Unité de mesure

- La mesure est exprimée en Bq/m<sup>3</sup>

# Choix des seuils d'alarme

## ► Notion de risque acceptable d'incorporation

### ■ Durée d'exposition:

- Les situations normales de travail n'entraînent pas d'exposition interne chronique,
- L'hypothèse majorante d'une durée d'exposition unique de 8 heures est retenue.

### ■ Le niveau d'enregistrement des expositions internes:

- Selon la publication 78 de la CIPR (1998) « *Le niveau d'enregistrement est le niveau au dessus duquel le résultat doit être enregistré. Les valeurs inférieures peuvent être négligées* »
- Niveau d'enregistrement EDF: **0,5 mSv correspondant à 30 kBq de <sup>60</sup>Co incorporation unique.**

### ■ La fixation de limites opérationnelles

#### ■ Les limites dérivées de la limite réglementaire annuelle (20 mSv) LDCAr (2000 h de travail)

- du mélange de radionucléide : **≈1500 Bq/m<sup>3</sup> environ 14,4 kBq incorporés sur 8 h**
- du <sup>60</sup>Co **490 Bq/m<sup>3</sup> environ 4,7 kBq incorporés sur 8 h** (<sup>131</sup>I gaz, 417 Bq/m<sup>3</sup>)

#### ■ Les limites dérivées, pour le <sup>60</sup>Co, contrôles systématiques de la non contamination des intervenants:

- Les portiques C3 de sortie de site **3,3 kBq = environ 344 Bq/m<sup>3</sup> sur 8h,** (<sup>131</sup>I, 550 Bq/m<sup>3</sup>)
- La LD des anthropogammamètres est de **150 Bq = environ 16 Bq/m<sup>3</sup> sur 8h** (<sup>131</sup>I, 26 Bq/m<sup>3</sup>)

### ■ Les seuils d'alarme des balises ont été choisis:

- pour garantir une mesure réactive (fonction des LD des balises et des contraintes d'ambiance)
- et de respecter ces limites.

# Organisation de la surveillance

## ► Objectifs

- Limiter la contamination interne des intervenants,
- Dose efficace engagée par inhalation et ingestion de  $^{60}\text{Co}$  reste inférieure au niveau d'enregistrement de contamination (0,5 mSv)
- Détecter avec la meilleure anticipation toute dérive de la situation radiologique
- Être cohérent avec la technologie des appareils utilisés et les conditions d'exploitation

## ► Deux types de surveillance

### ■ Surveillance globale de l'enceinte (balises aérosols, iodes)

#### ■ Seuils de réglage :

- Seuil 1 d'investigation réglé à  $30 \text{ Bq/m}^3$  déclenche immédiatement la recherche des causes,
- Seuil 2 d'évacuation réglé à  $350 \text{ Bq/m}^3$  conduit à une évacuation immédiate du BR,

### ■ Surveillance chantier (balises aérosols, iodes, gaz, gamma)

#### ■ Seuil de réglage :

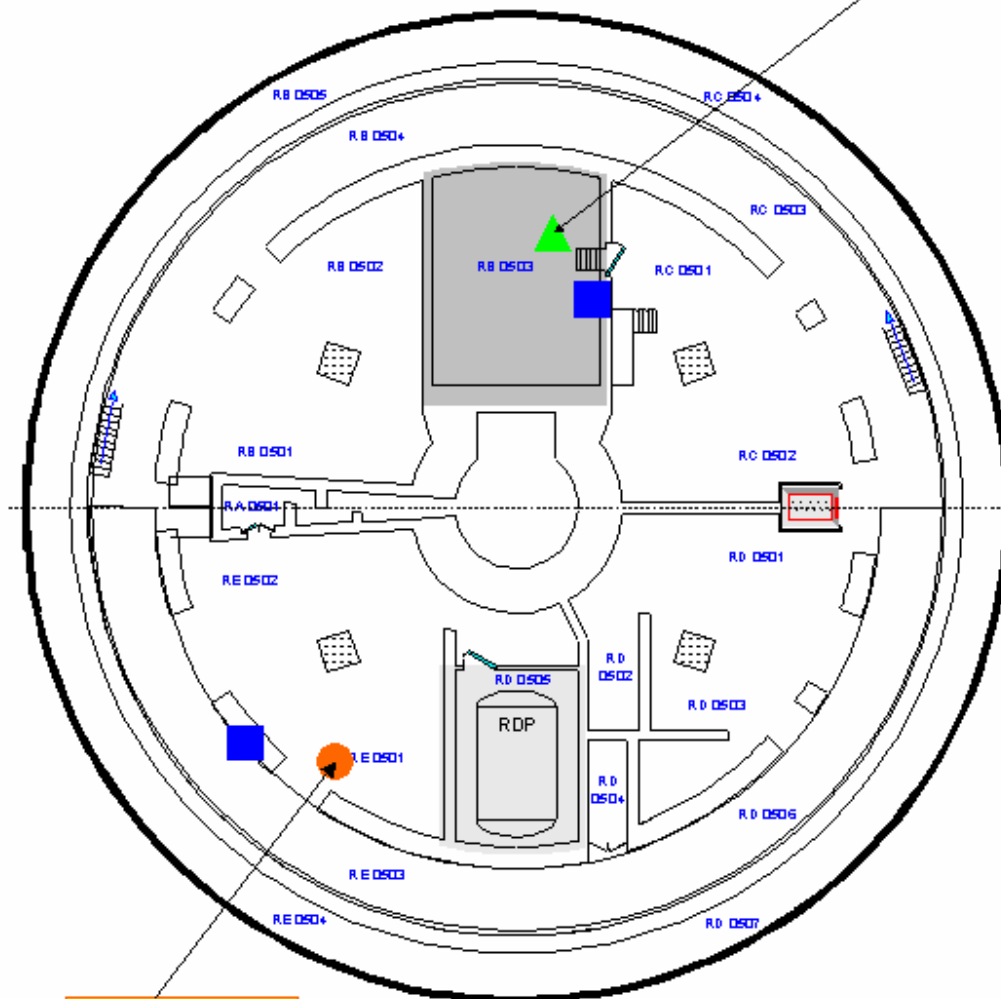
- Seuil d'évacuation qui conduit à une évacuation immédiate du chantier
  - Par exemple pour les gaz: Seuil 2 = LDCAr du  $^{133}\text{Xe}$  =  $2 \text{ MBq/m}^3$ ..



# Localisation des zones de surveillance

Niveau -2,00m

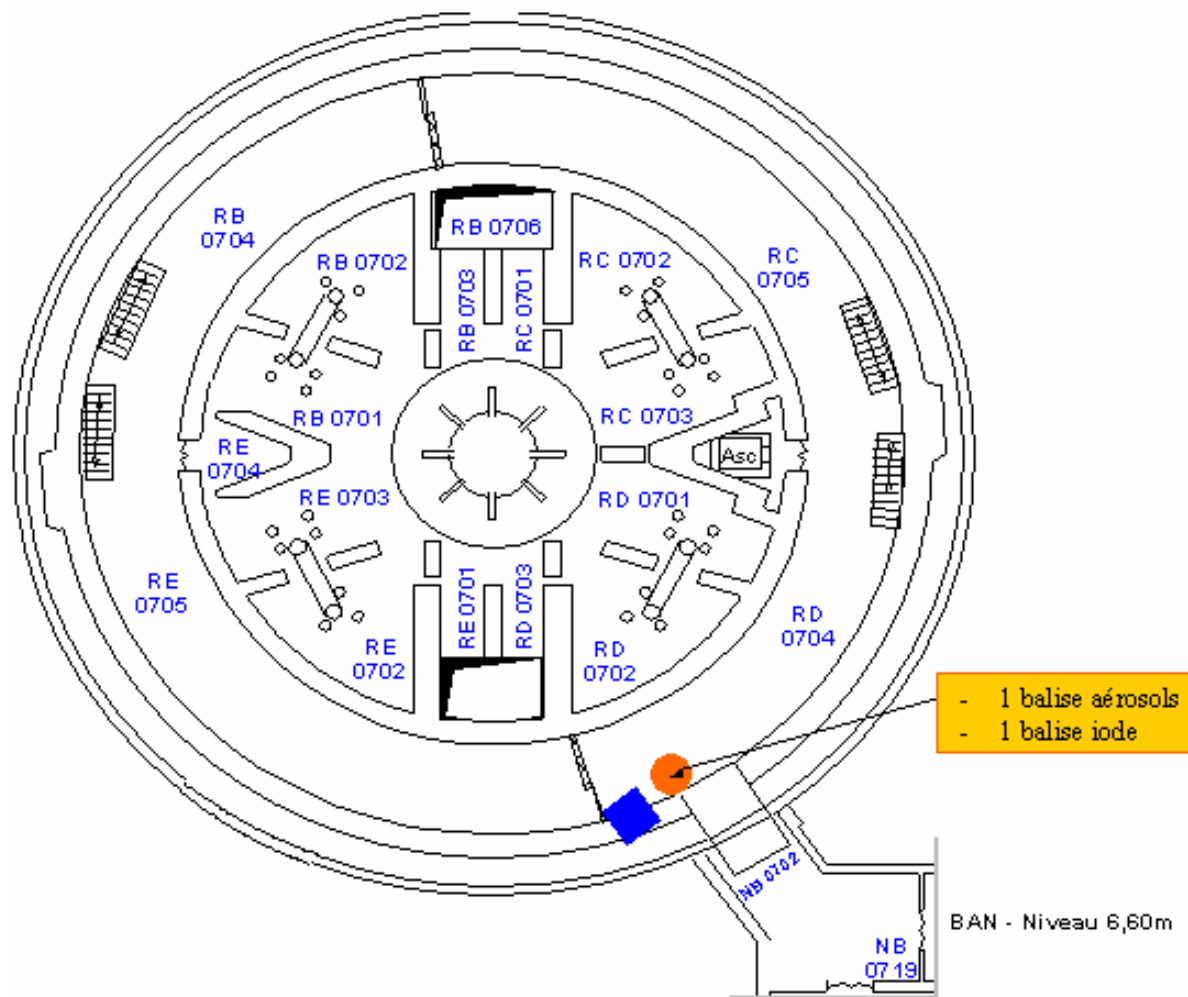
balise aérosols  
surveillance chantier RIC



- 1 balise aérosols

# Localisation des zones de surveillance

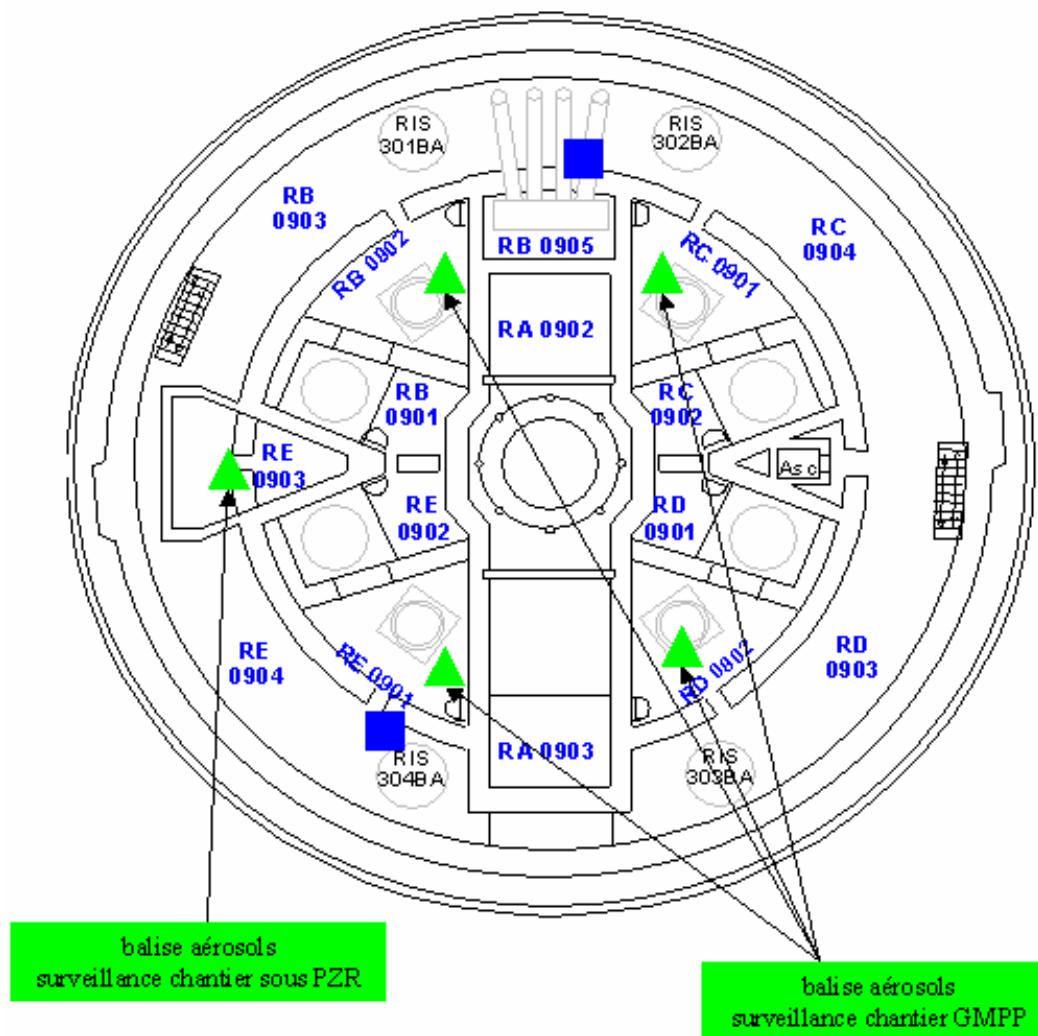
Niveau 6,60m





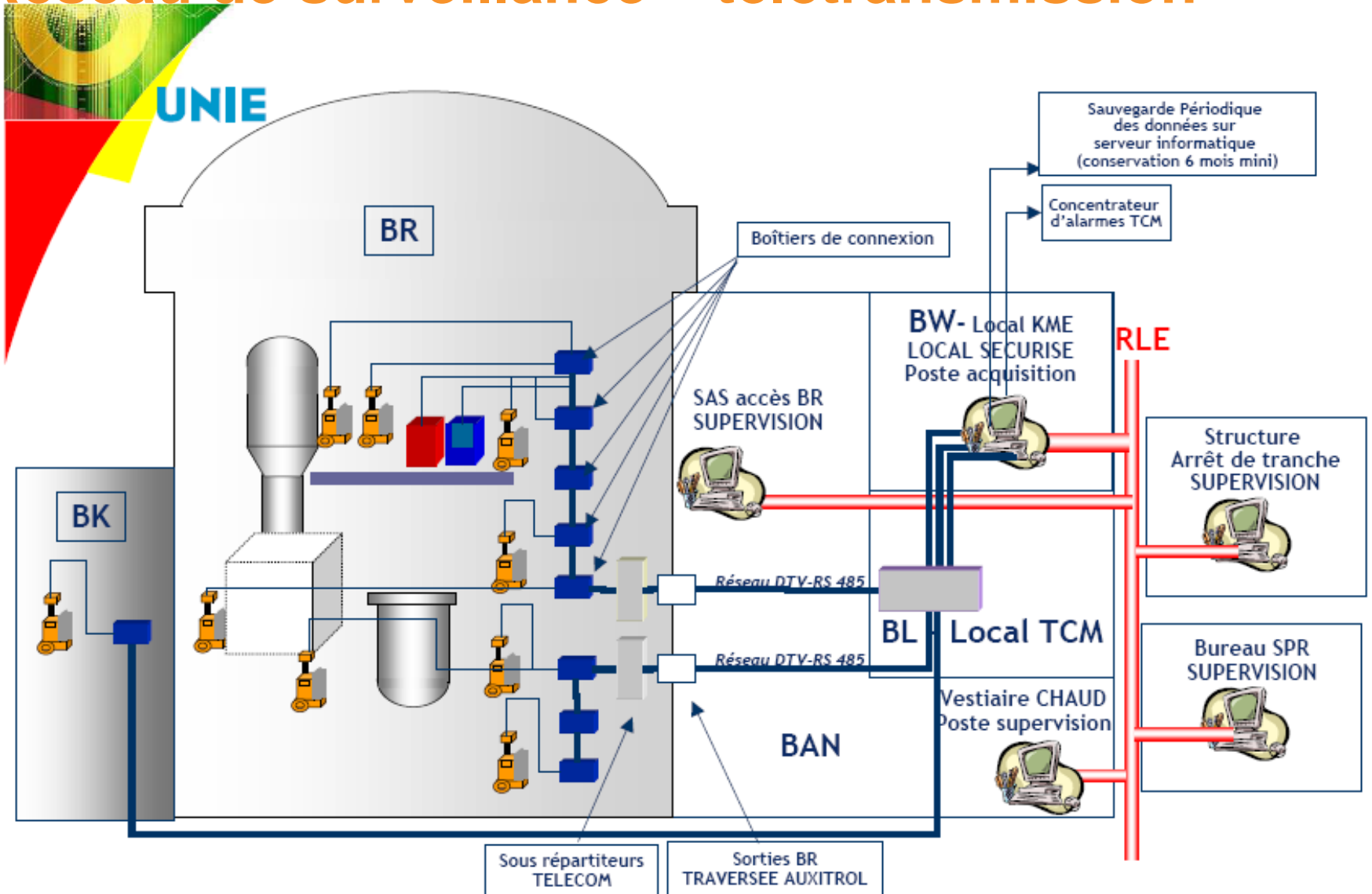
# Localisation des zones de surveillance

Niveau 12,40m





# Réseau de surveillance – télétransmission



**Nous vous remercions  
pour votre attention**