



Conception des Confinement de chantiers

De la R&D à la Normalisation

Académie des sciences

Séminaire : Sciences du démantèlement des installations
nucléaires

Luc Lafanechère – EDF/CIDEN

Emmanuel Porcheron - IRSN



Sommaire

- 1. Objet et fonction du confinement de chantiers**
- 2. Exigences de conception**
- 3. Confinement mis en œuvre / Innovation industrielle**
- 4. R&D en cours / à venir**
- 5. Capitaliser par la normalisation**

1.1 – Fonctions et Enjeux du confinement

Fonctions du confinement – Loi TSN 13/06/2006 et Arrêté INB 08/02/2012

▶ Fonction 1 : Confinement de sûreté

- Maîtriser les rejets de substances radioactives, sous forme aérosols ou gazeuses, dans l'environnement.

▶ Fonction 2 : Radioprotection

- Protéger les opérateurs, en particulier ceux ne disposant pas de protection respiratoire, de la contamination générée par un chantier à proximité.

▶ Et aussi des fonctions :

- De Propreté radiologique, d'Assainissement, d'Épuration, de Conditionnement d'air.

Un enjeu Sûreté/Radioprotection → protéger les opérateurs des gaz et aérosols

Un enjeu Industriel → Maîtriser les interventions (faisabilité, coûts et délais)

▶ Une Norme ventilation nucléaire ISO 17873 :

- Rédigée pour les laboratoires / les usines.
- Pas adaptée aux chantiers de démantèlement.

Il est donc nécessaire de développer une méthodologie propre au confinement de chantier, et à terme de capitaliser dans une norme dédiée.

1.2 – Objet et Fonctions du confinement

Limite Dérivée de Concentration dans l'Air

► Définition de la LDCA :

■ LDCA des radionucléides issues de l'Arrêté du 01/09/2003.

- Particules de 5 μ et 1 μ et gaz.
- Radionucléide seul : valeurs Arrêté 2003.
- Nécessité de prendre en compte les filiations de RN.

► Exemples et signification :

■ Le LDCA permet de pondérer l'impact de chaque RN sur la dose reçue par le travailleur.

$$LDCA = \frac{LD}{DPUI \times V_{inhalé}}$$

- LD (Sv) : Limite annuelle de dose efficace (20 mSv)
- DPUI (Sv/Bq) : Dose efficace par unité d'incorporation
- $V_{inhalé}$ (m³) : Volume inhalé annuellement par un opérateur (2 000h x 1.2 m³/h)
(1.1 m³/h dans CIPR 103)

	LDCA	Période	DPUI / DPUC ^(*)
	(Bq/m ³)	(an)	Sv/Bq Sv/j/ (Bq/m ³) ^(**)
³ H	462 963	12.3	1.80E-11
¹⁰ Be	439	1 600 000	1.90E-08
¹⁴ C	14 368	5 730	5.80E-10
²² Na	4 167	2.60	2.00E-09
²⁶ Al	595	716 000	1.40E-08
³² Si / ³² P	152	450	5.50E-08
³⁶ Cl	1 634	301 000	5.10E-09
³⁹ Ar ^(*)	7 272 727	269	1.10E-11
⁴⁰ K	2 778	1 280 000 000	3.00E-09
⁴¹ Ca	43 860	140 000	1.90E-10
⁴⁴ Ti	116	47.3	7.20E-08
⁴⁹ V	320 513	0.90	2.60E-11
⁵³ Mn	231 481	3 700 000	3.60E-11
⁵⁴ Mn	6 944	0.85	1.20E-09
⁵⁵ Fe	9 058	2.70	9.20E-10
⁶⁰ Fe	25.3	100 000	3.30E-07
⁵⁷ Co	13 889	0.74	6.00E-10
⁶⁰ Co	490	5.27	1.70E-08

■ Notion de LDCA : CIPR 103
Commission Internationale
de Protection Radiologique.

1.3 - Objet et Fonctions du confinement

Classification des confinements

► Évaluation de la contamination – Calcul du Nb de LDCA équivalente :

- Spectres de contamination / activation .
- Volumes des sas / locaux et débits de ventilation .
- Travaux réalisés (découpes, conditionnement...) .
- Accidents potentiels (chutes de déchets...).
- Coefficients de remise en suspension d'activité et d'épuration.

Démarche prédictive à la conception.

- Fct normal
- Accidentel

► Classification donnée par la normes ISO 17873 :

Contamination permanente normale (Nb LDCA équivalente)	Contamination accidentelle potentielle (Nb LDCA équivalente)	Classe de confinement	Type de ventilation
0 - < 1/10 (*)	< 1	C1	I
< 1	< 80	C2	II A
< 1	< 4 000	C3	II B
< 80	< 4 000	C4	III A
< 4 000	> 4 000	C4	III B
> 4 000	>> 4 000	C4	IV

* Norme ISO 17873 : Aussi faible que raisonnablement possible et < 1/10

2.1 – Exigences de conception

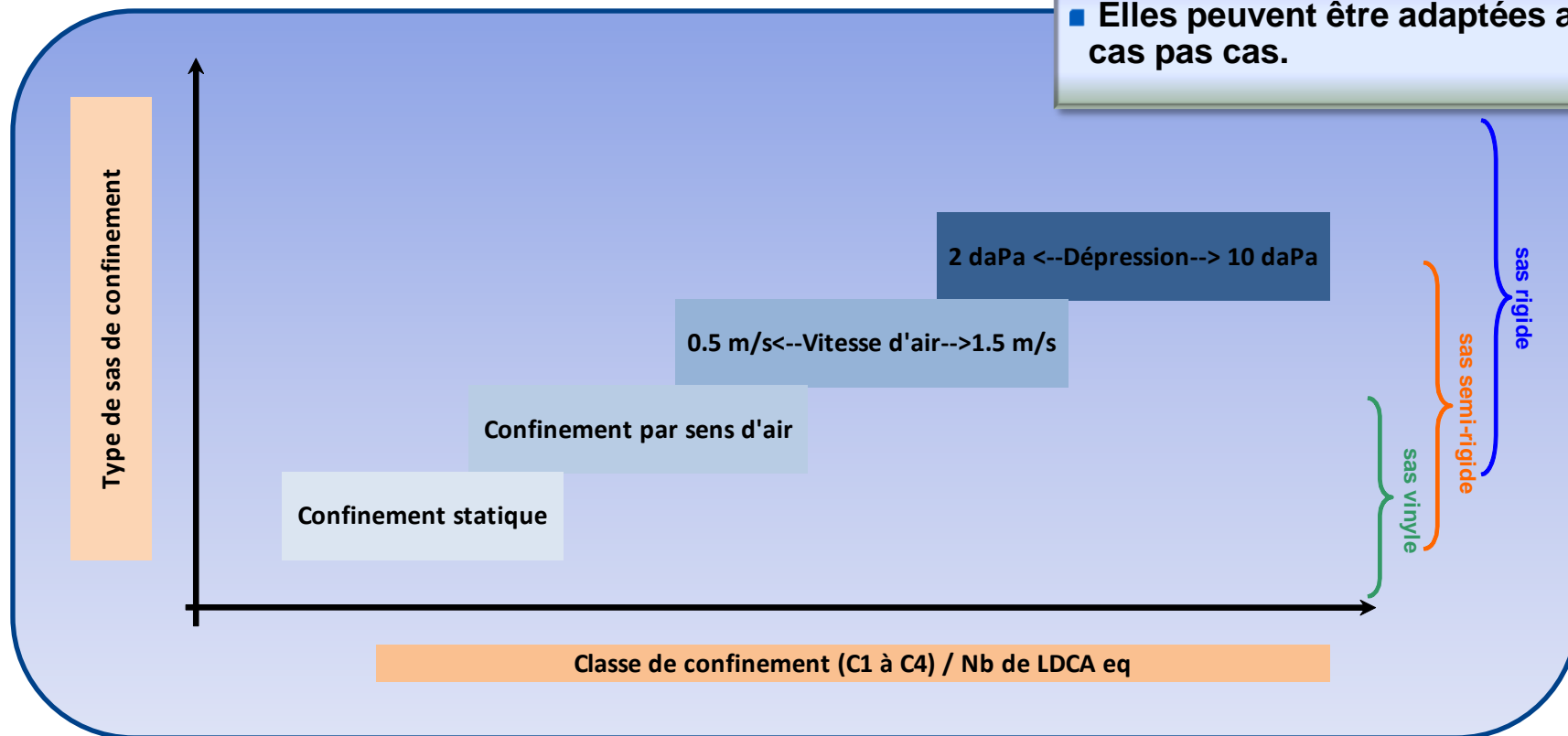
Confinement statique – stato-dynamique

Dans le cas général, le confinement d'un chantier est obtenu par la combinaison :

- d'un confinement statique : sas et/ou paroi d'un local,
- d'un confinement dynamique : ventilation.

Confinement stato-dynamique, il doit être adapté aux enjeux.

- Les valeurs ci-dessous sont données à titre d'exemple.
- Elles peuvent être adaptées au cas par cas.

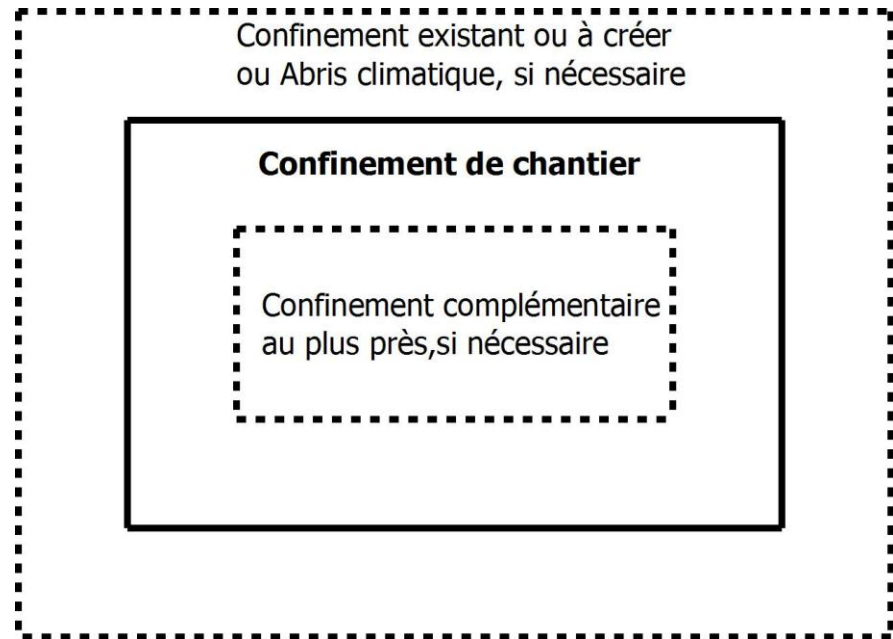


- Il est important de noter qu'il y a un lien étroit entre confinement dynamique et confinement statique.

2.2 – Niveaux de confinement

► Le nombre de niveaux de confinement, doit être déterminé par une évaluation de risques.

- gravité et fréquence probable des accidents potentiels,
- quantité de radioactivité présente,
- radiotoxicité et potentiel de dispersabilité,
- ...

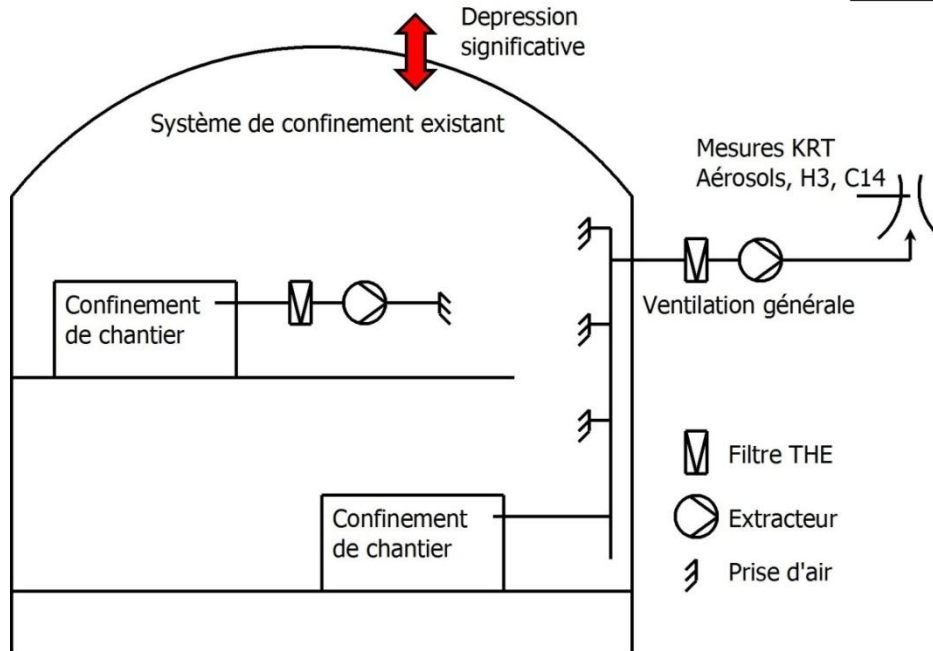
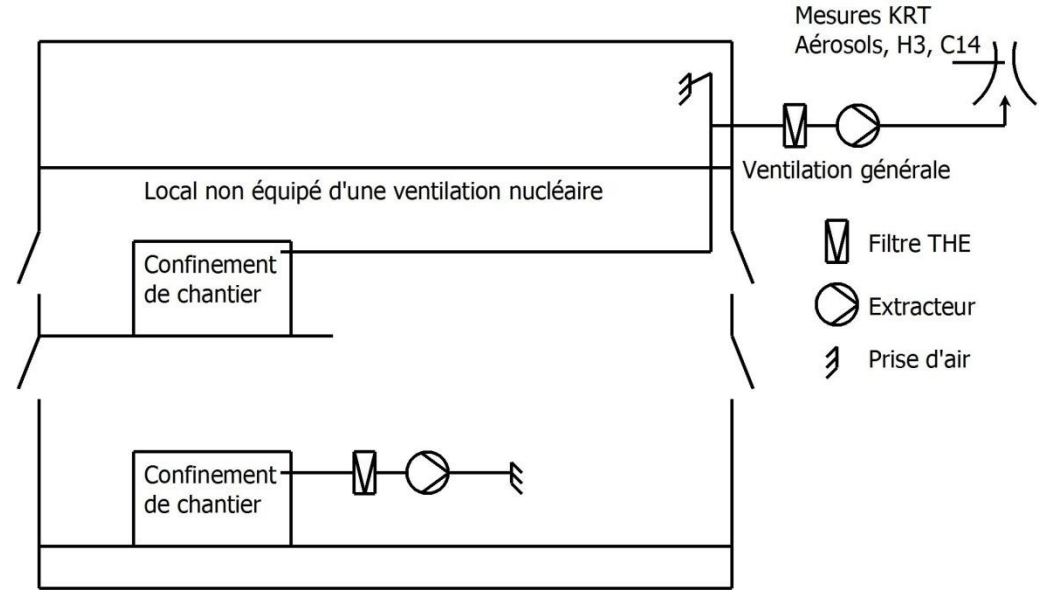


Type	Nature du confinement
Confinement de chantier	Confinement de chantier généralement constitué de parois temporaires : sas souples (vinyle), sas semi-rigide (polycarbonate) ou rigide (métallique ou maçonné). Il peut aussi s'appuyer sur les locaux existants.
Confinement au plus près (Confinement complémentaire, si nécessaire)	Confinement complémentaire, au plus près de la source de contamination, mis en œuvre en fonction de l'enjeu radiologique de l'opération. Il peut être constitué d'un sas de confinement ou d'un confinement au plus près (manchette étanche, boîte étanche ventilée...).
Confinement existant (si nécessaire, historique ou à créer)	Ventilation de type nucléaire des bâtiments ou des locaux, ou abris climatique (soleil, pluie, vent, neige, températures extrêmes)

2.3 – Mise en œuvre d'un confinement de chantier

► Sas de confinement.

- Connecté ou non connecté à la ventilation générale.
- Dans un local équipé ou non équipé d'une ventilation nucléaire.
- Avec mise en œuvre d'un confinement au plus près si nécessaire.



► Surveillance.

- Comptabilisation des rejets : Aérosol, H3, C14.
- Surveillance des locaux par balises RP.

3.1 - Confinement C4 de Chooz A



Chooz A : Sas de démantèlement C4

Bras télescopique pour aspiration au plus près

Stand de découpes

Intérieur du sas semi-rigide

Sas semi-rigide (polycarbonate) :

Utilisés pour le maintien d'une dépression de l'ordre de 4 à 8 daPa.



Extérieur du sas semi-rigide

3.2 - Confinement C2 de Bugey 1

Bugey 1 : sas d'accès au caisson réacteur



Paroi acier

Protection vinyle pour éviter la contamination des parois

Étanchéité

Sas rigide (métallique + peau vinyle) :

Utilisés pour le maintien d'une dépression transitoirement élevée.

Sas souple (vinyle) :

Utilisés pour le maintien d'un sens d'air ou d'une dépression de l'ordre de 2 daPa.



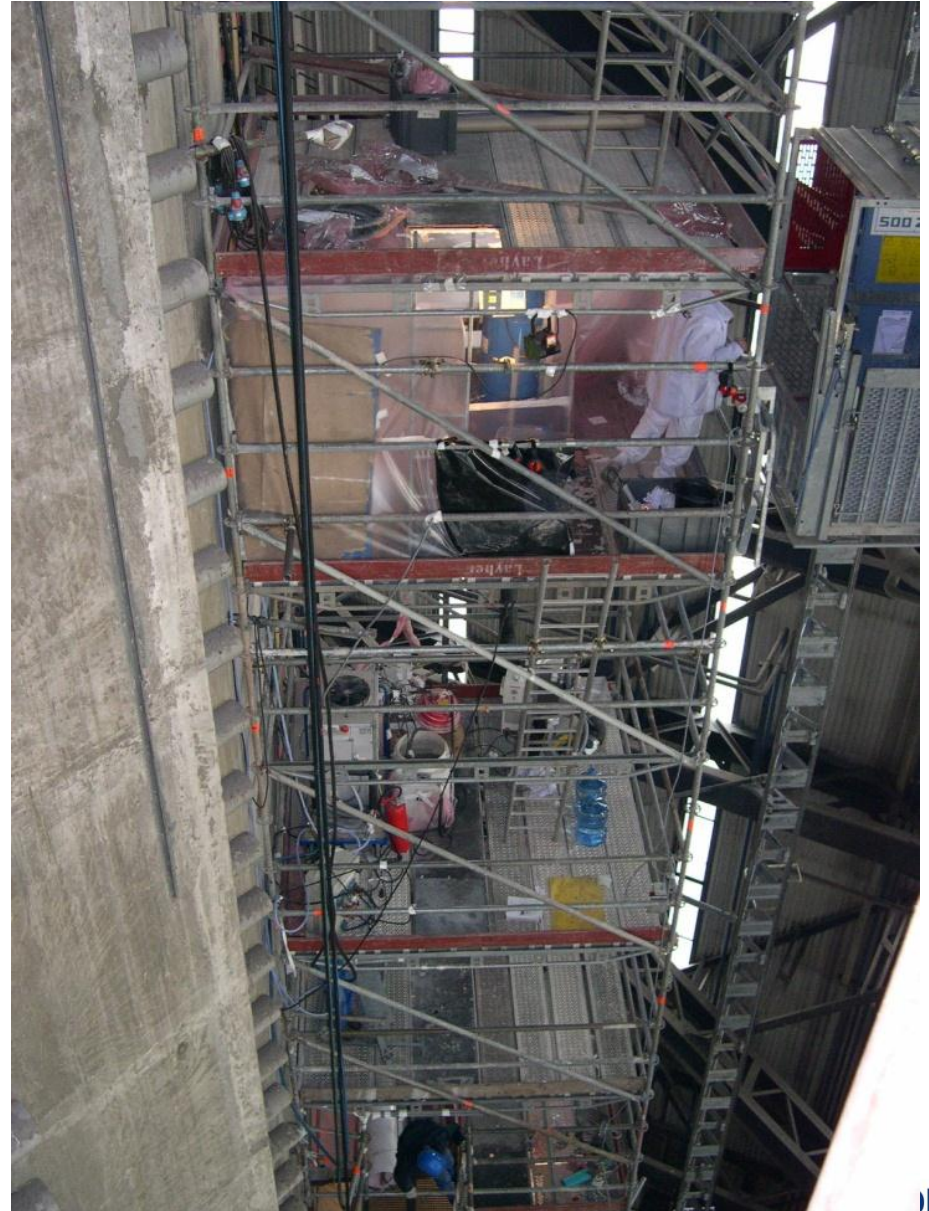
3.3 – Exemples de confinement réalisés



► Chantier Piscine de Bugey 1

3.4 – Exemples de confinement réalisés

- ▶ Carottage du caisson réacteur de Bugey 1

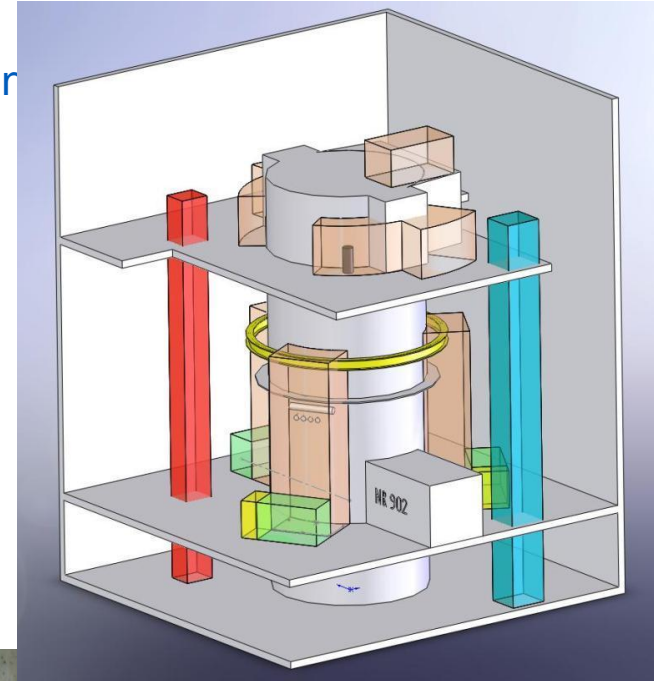


3.5 - Confinement à la source/Innovation industrielle

Scie sabre + cloche

◆ Confinement assuré par : cloche + joints + aspiration/filtration connectée à la ventilation générale + manchette vinyle pour séparation des tronçons.

- ◆ Un confinement dynamique au plus près de la source.
- ◆ Pas de sas => une préparation de chantier optimisée



3.6 - Confinement à la source/Innovation industrielle

Cisaille + bac à copeaux + hotte d'aspiration

- ▶ Confinement assuré par : dispositif d'aspiration/filtration connectée à la ventilation générale + vitesses d'air importantes + tube bouché par tarlatane.

Utilisation d'une cisaille et d'une hotte d'aspiration (diamètres tubes $\leq 1,25''$)



Confinement maîtrisé :

- aspiration avec vitesse d'air élevée
- écrasement du tube avant découpe
- coupe par cisaille au plus près de la hotte
- pose de ruban adhésif sur les lèvres du tube écrasé et coupé

4 – R&D en cours, à venir

Filtration, Confinement dynamique, Mesures et prélèvements rejets

► Caractérisation et impact de particules incandescentes dans les réseaux de ventilation :

- Etude théorique et expérimentale de la caractérisation de particules incandescentes en vol.
- Application industrielle, endommagement potentiel du médium filtrant, efficacité des pare-étincelles.

► Mécanismes de transfert aéraulique au travers d'ouvertures :

- Etude numérique et expérimentale, à petite échelle, des mécanismes de transferts aux ouvertures.
- Application industrielle, étude expérimentale à l'échelle 1, identifier les critères aérauliques les plus pertinents garantissant le confinement aux ouvertures.

► Mesures, Prélèvement et Analyses des rejets :

- Mesures opérationnelles : Aérosol, C14, H3
- Mesures en développement : Cl36.

4.1 – Caractérisation et impact des particules incandescentes dans les réseaux de ventilation



Lors des opérations de démantèlement, certains procédés utilisés pour la découpe des métaux génèrent des particules portées à haute température.

Ces particules peuvent-être entraînées dans les réseaux de ventilation induisant un risque de dégradation des systèmes de filtration participant au confinement des chantiers.

- Programme de recherche mené par l'IRSN avec le soutien d'EDF CIDEN pour contribuer à l'évaluation des dispositifs et des pratiques mises en œuvre permettant de préserver les systèmes de filtration vis-à-vis du risque lié aux particules incandescentes.
- Approche analytique réalisée dans le cadre d'une thèse (Pierre MARCHAL) pour quantifier la perte d'efficacité d'un filtre très haute efficacité (THE) en fonction des caractéristiques des particules produites lors de découpes par disqueuse.

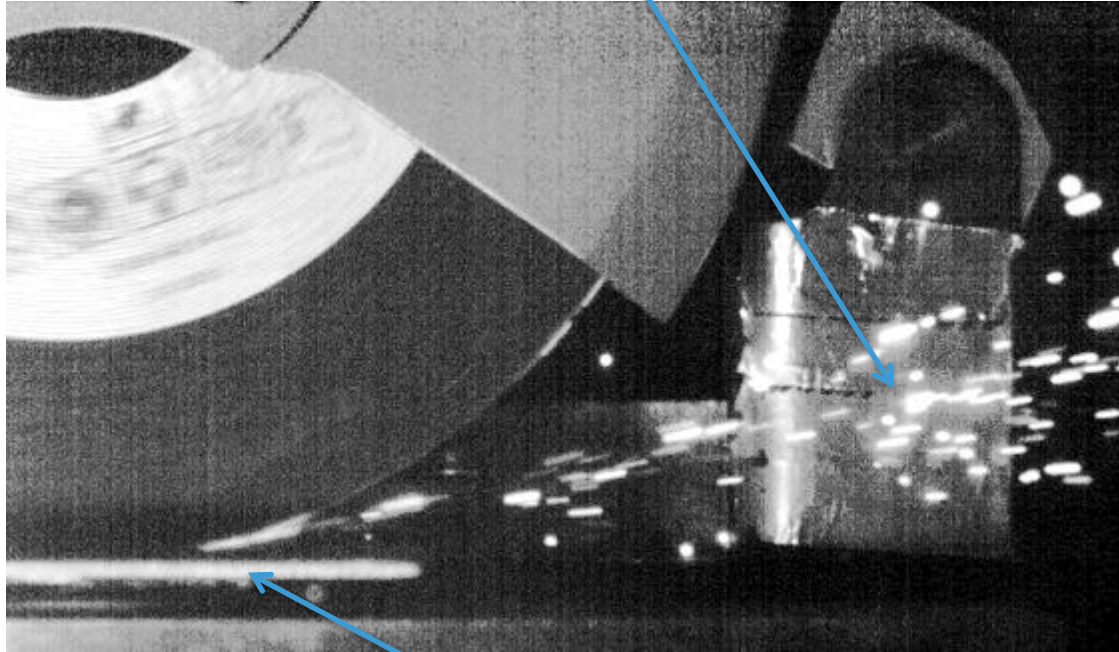
4.2 – Production de particules par découpe de métal par disqueuse

Outil (disque)

Particules métalliques
incandescentes

+

Particules non
incandescentes

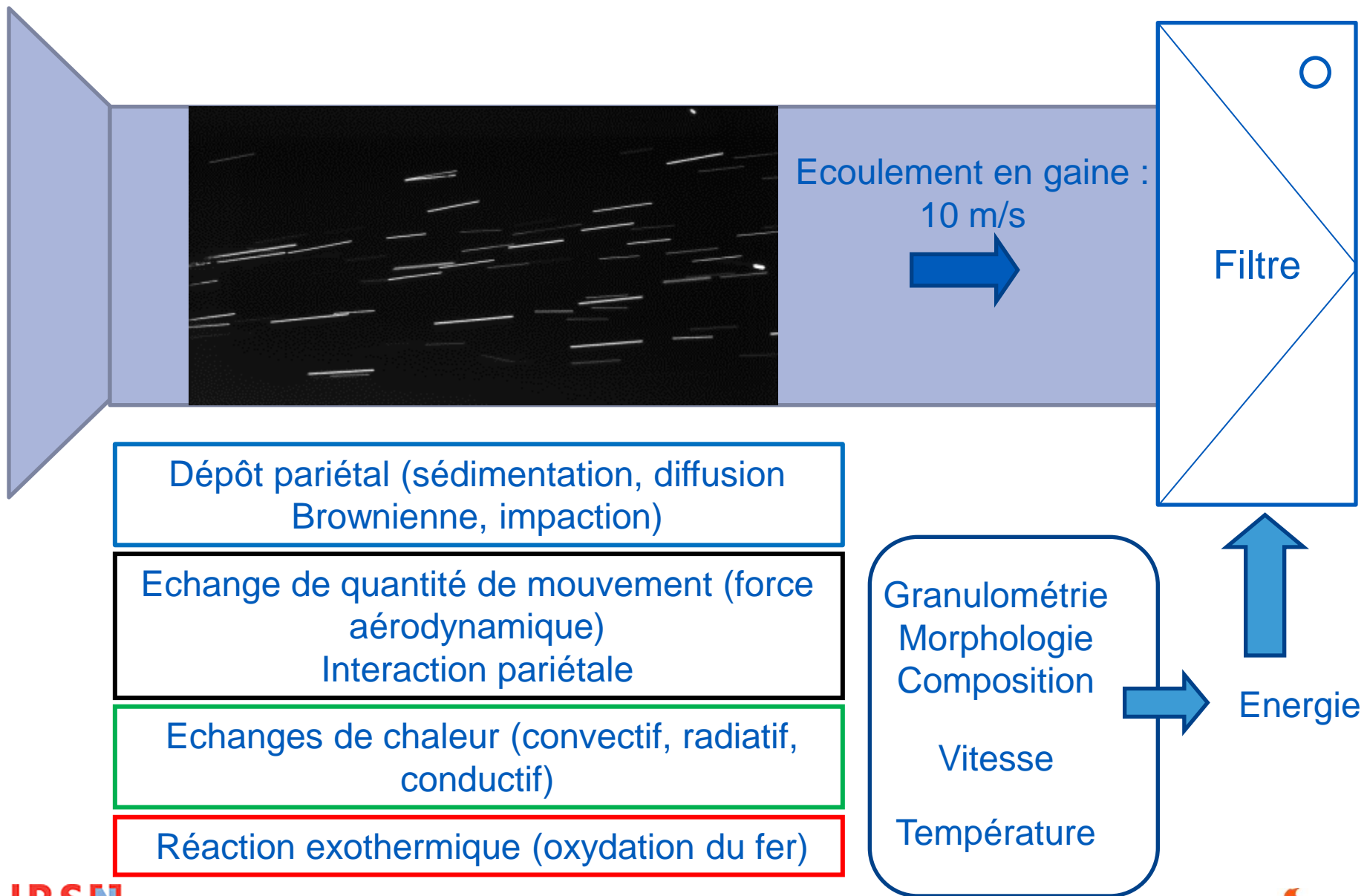


Gaine de
ventilation

- Paramètres de coupe (angle d'attaque, vitesse de coupe, force d'appui)
- Matériaux

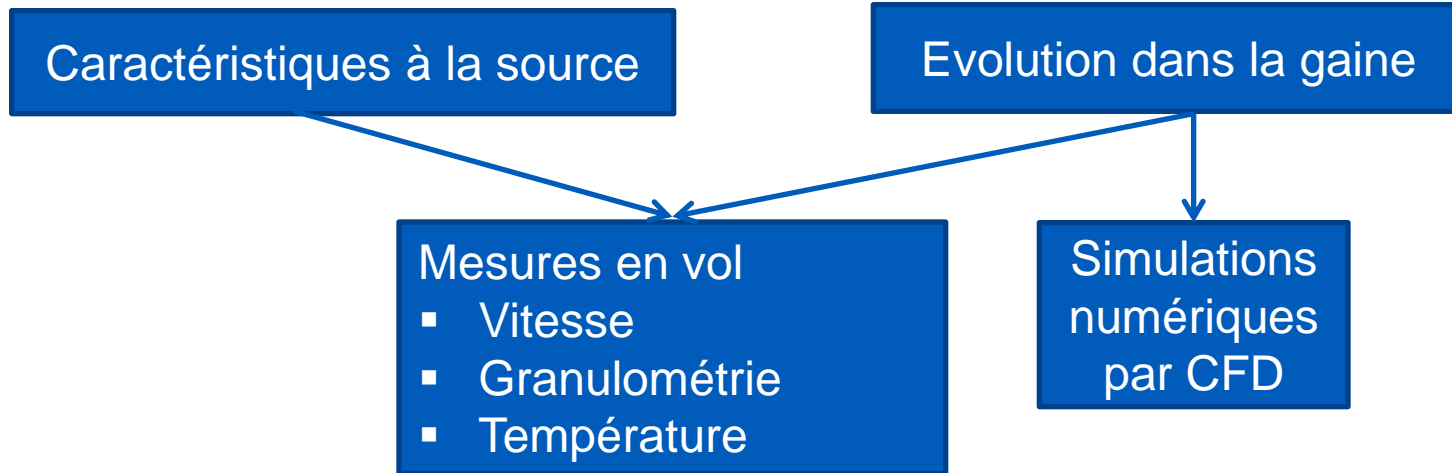
Pièce métallique

4.3 – Devenir des particules

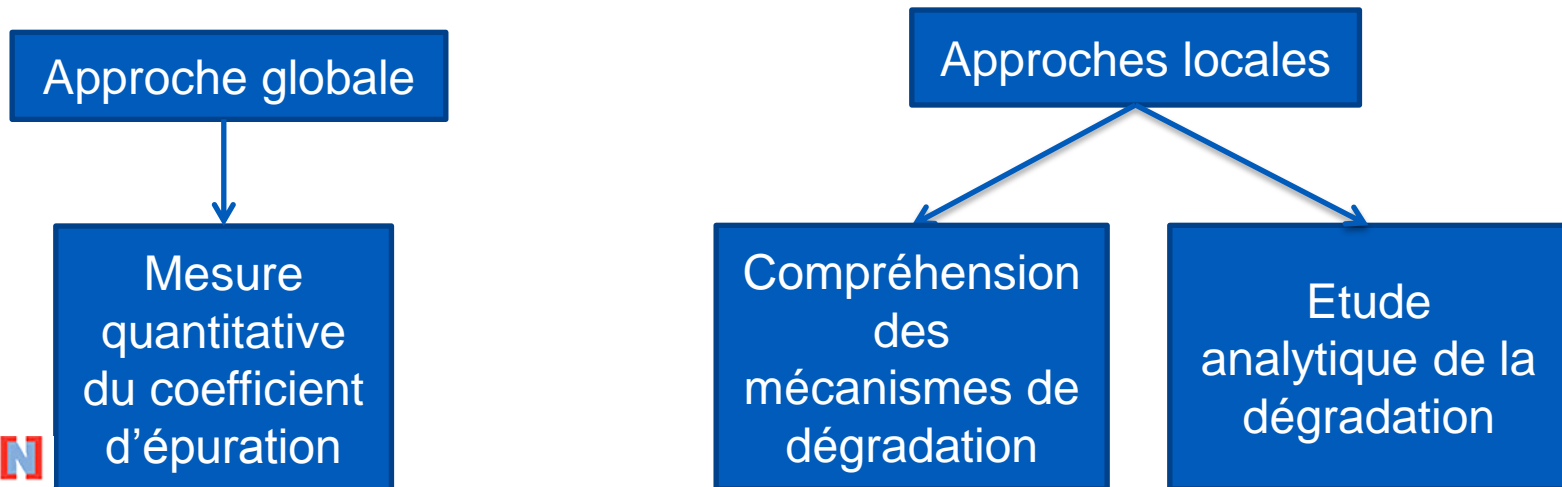


4.4 – Méthodologie de l'étude

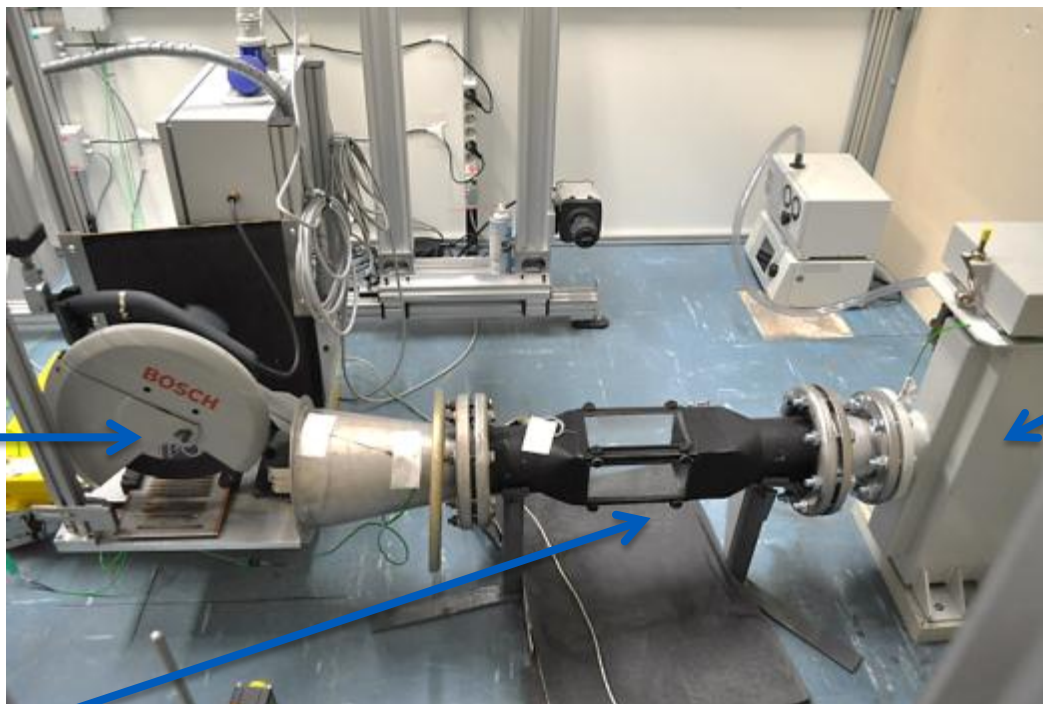
- Détermination des caractéristiques des particules produites et de leur devenir



- Effet de l'impact des particules sur le filtre



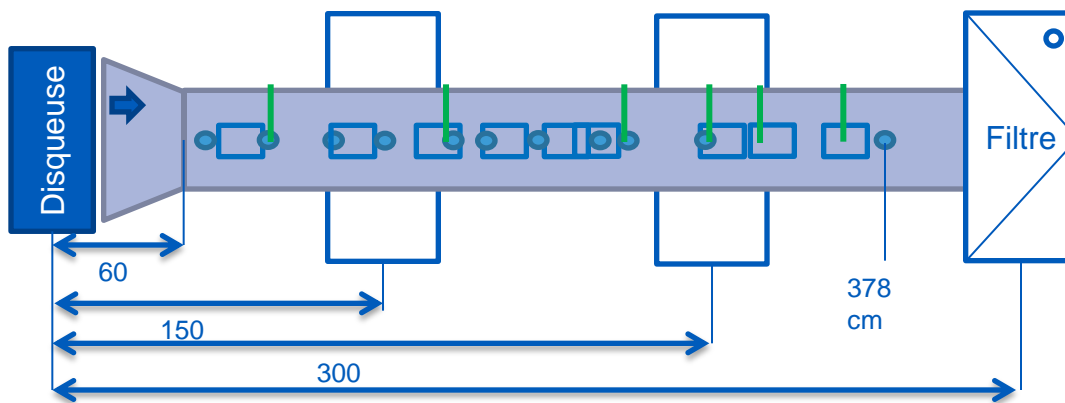
4.5 – Dispositif expérimental - CAPIMIF



Disqueuse pilotée

Filtre

Veine de mesure



4.6 – Instrumentation

▶ Mesure de la vitesse des particules

- Techniques optiques de vélocimétrie (Vélocimétrie laser par images de particules et par suivi de particules)

▶ Mesure de la distribution granulométrique des particules

- Compteur optique pour les particules de taille inférieure à 20 μm
- Analyse par microscope optique des échantillons prélevés

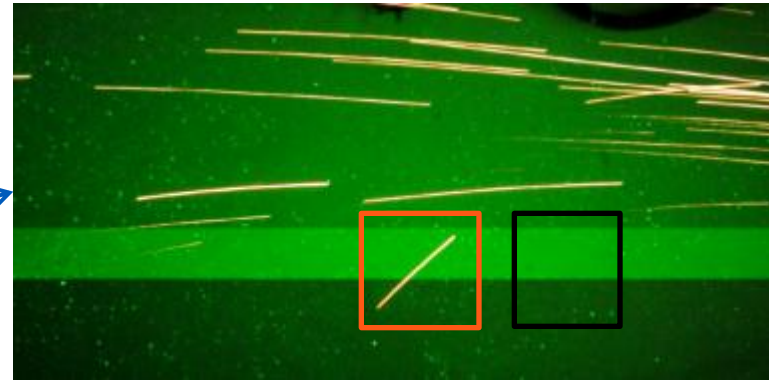
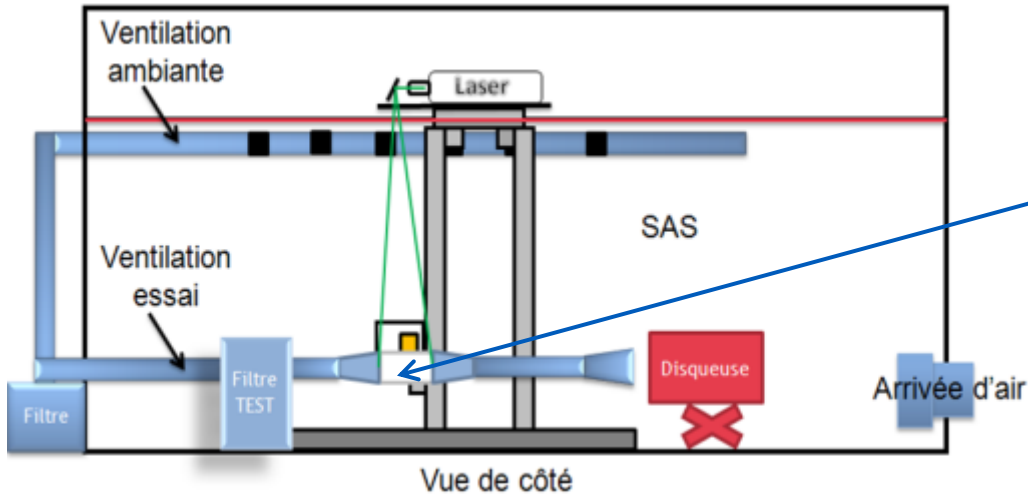
▶ Mesure de la température des particules

- Pyromètre monochromatique intégrant une loi d'inversion développée et validée spécifiquement pour la mesure de particules en mouvement

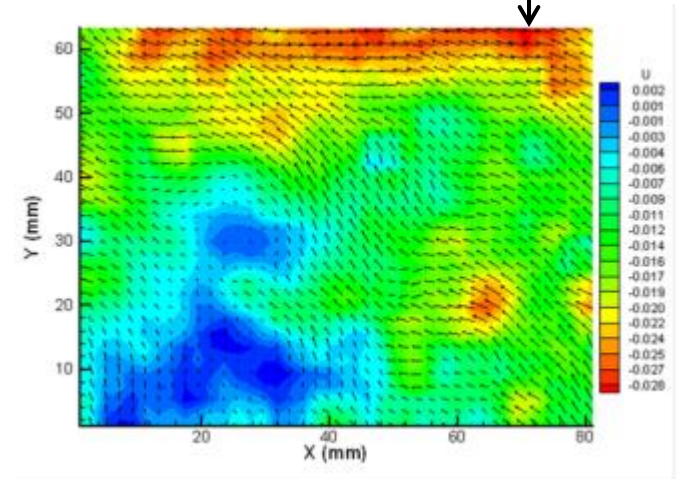
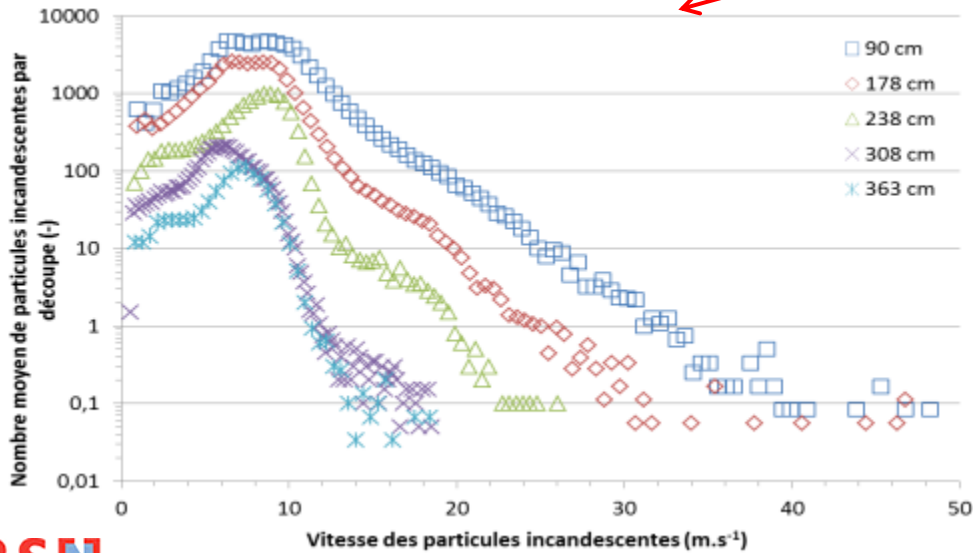
▶ Caractérisation de la dégradation du filtre

- Détermination du coefficient d'épuration du filtre
- Analyse locale des impacts par microscope électronique à balayage

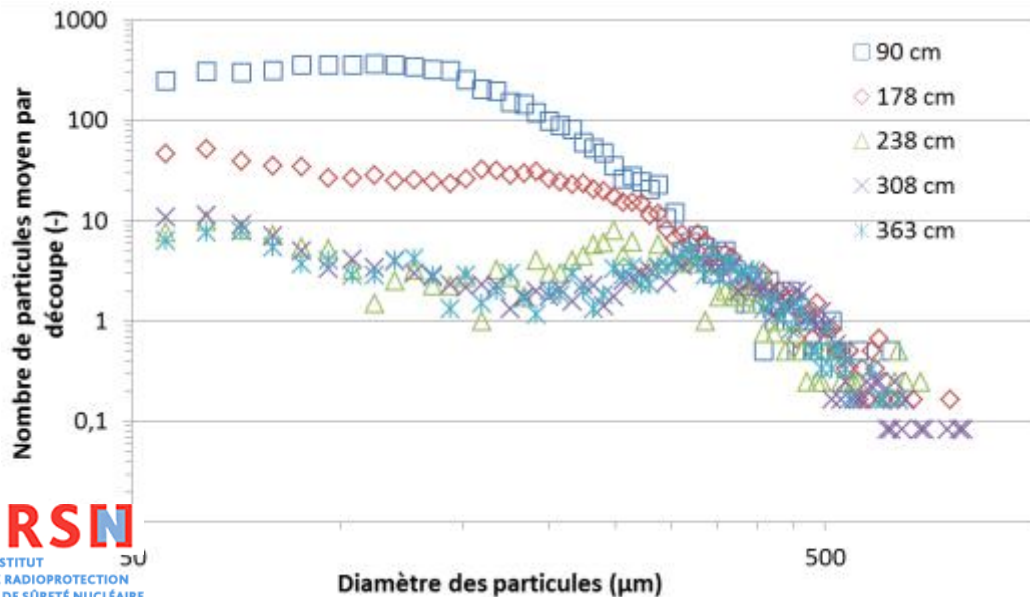
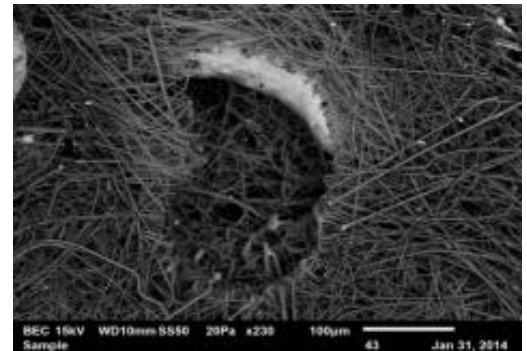
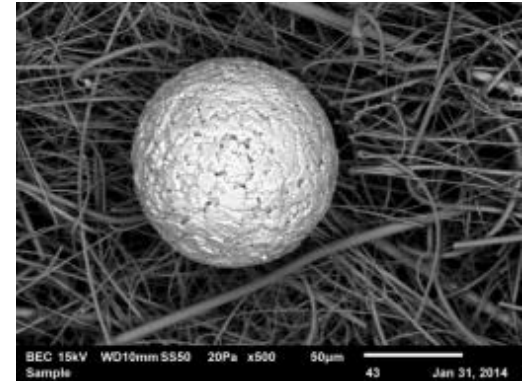
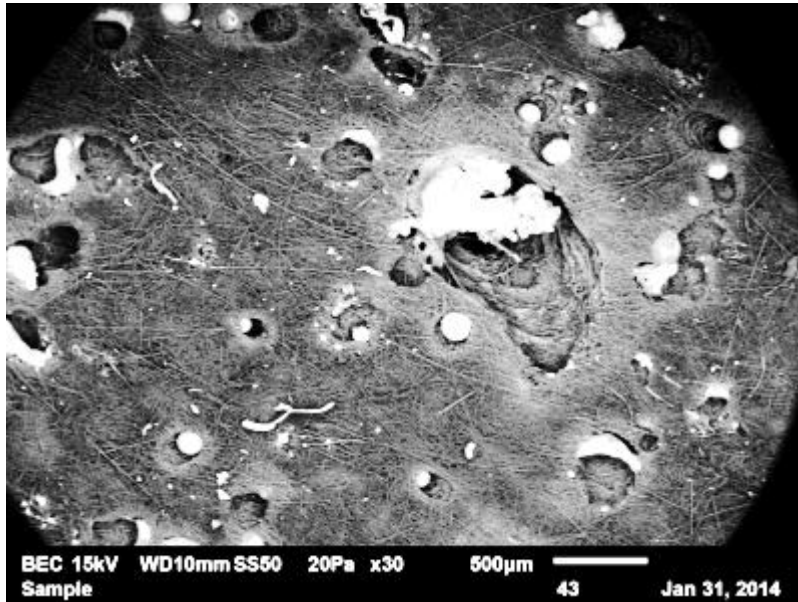
4.6.1 – Vitesse des particules



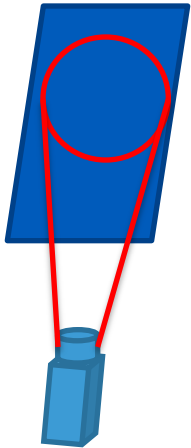
PTV PIV



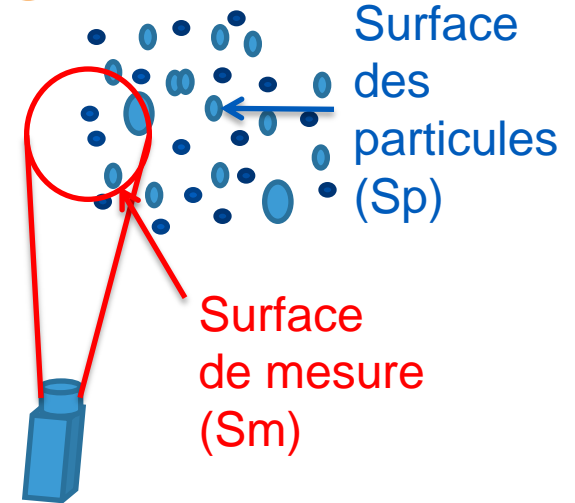
4.6.2 – Morphologie et granulométrie des particules



4.6.3 – Température des particules



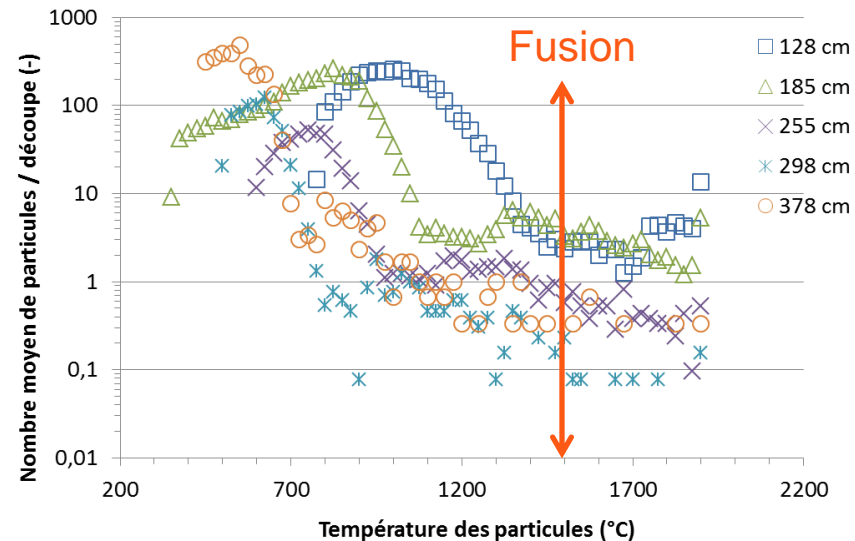
$$L_{\lambda} = \frac{C_{1,l}}{\lambda^5 \cdot \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda \cdot T}\right) - 1 \right]}$$



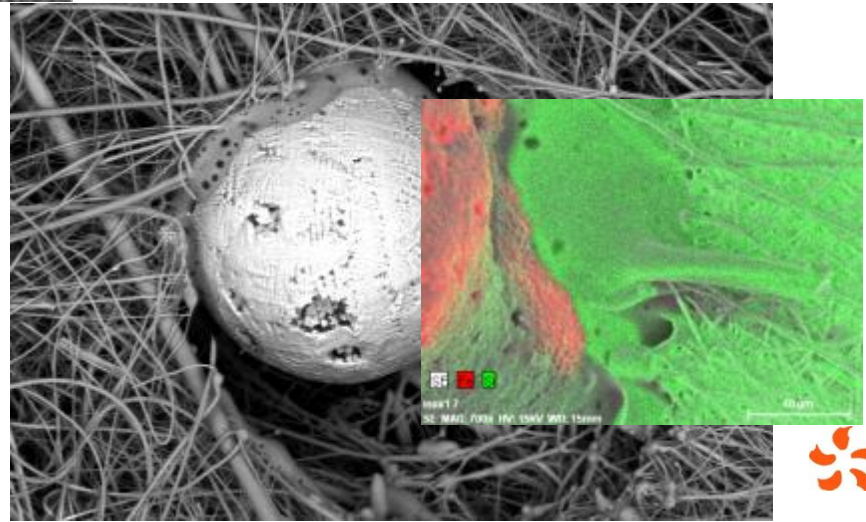
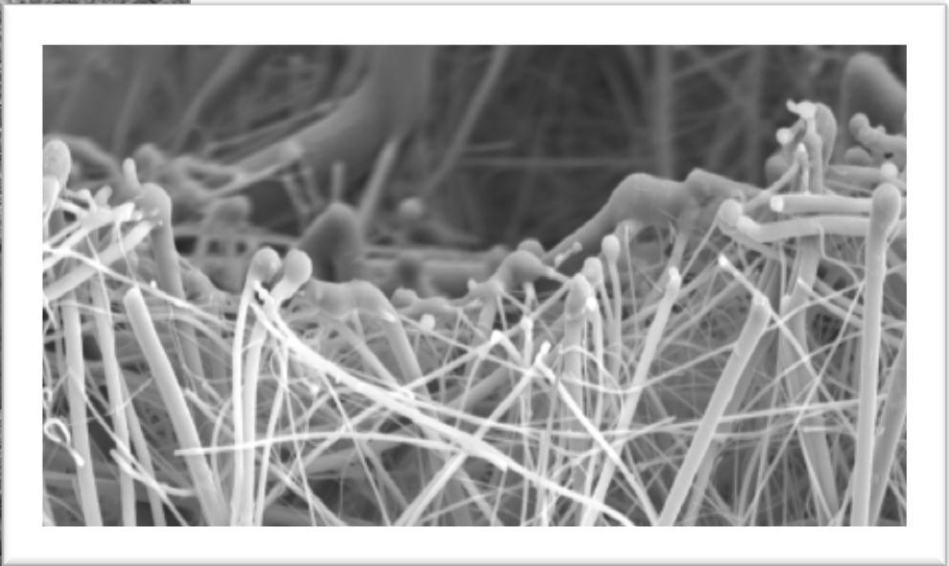
Développement et validation d'une loi d'inversion du signal



- Temps de transit des particules
- Surface émissive des particules
- Dispersion spatiale dans le volume de mesure du pyromètre
- Emissivité



4.7 – Impact des particules sur le médium : approche locale

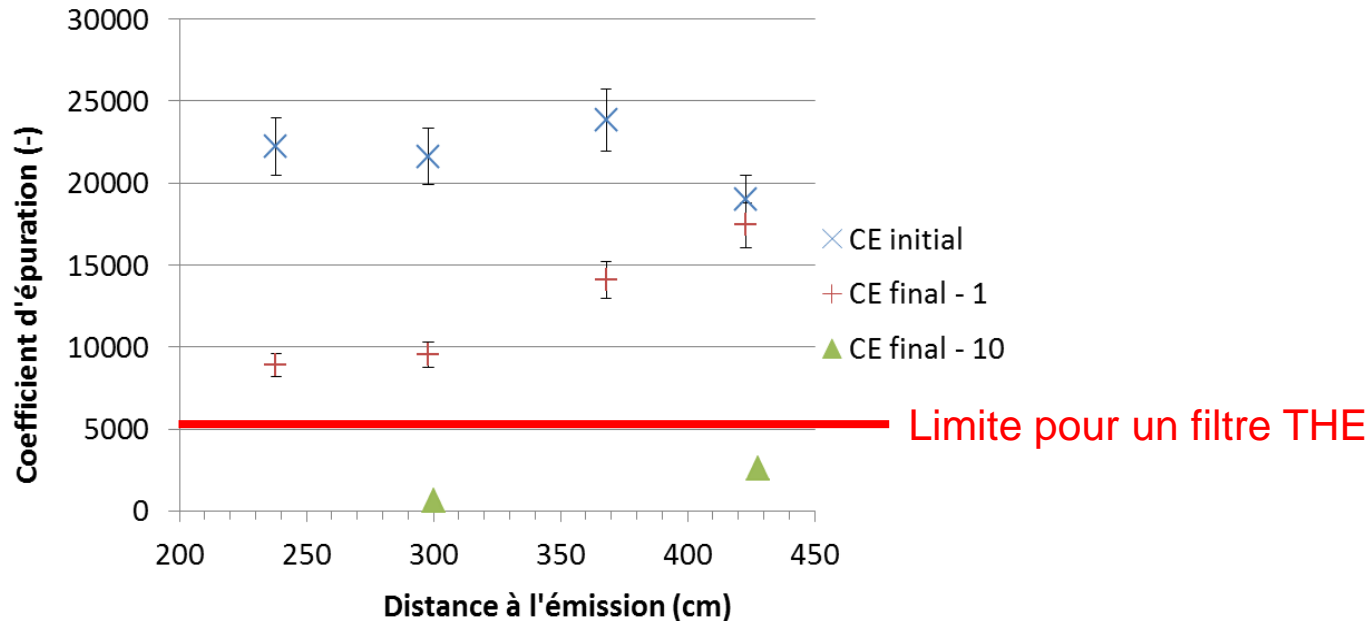


4.8 – Dégradation de l'efficacité du filtre : approche globale normalisée

Mesure du Coefficient d'Épuration (CE) selon la norme NF-X-44-011

$$CE = \frac{C_{amont_filtre}}{C_{aval_filtre}}$$

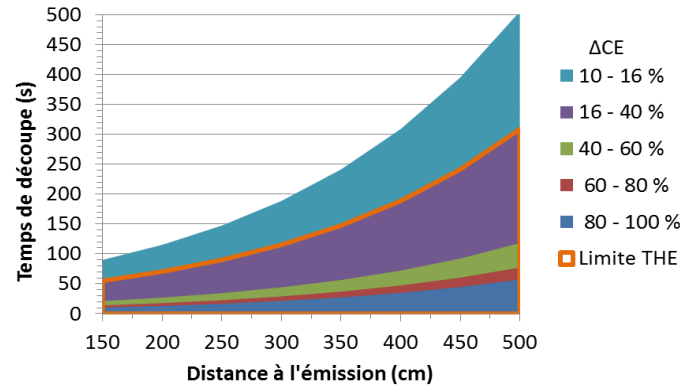
CE mesuré sur un filtre neuf exposé aux particules incandescentes



4.9 – Influence de la configuration de découpe sur la dégradation du filtre

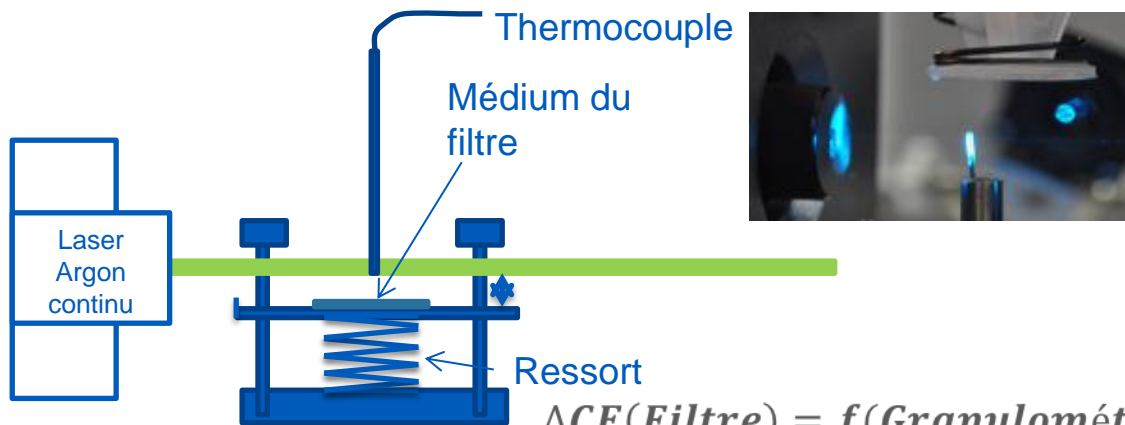
◆ Corrélation opérationnelle issue de l'approche globale

$$\Delta CE(\text{Filtre}) = f(\text{Matériaux}, \text{Distance}, \text{paramètres de coupe})$$



◆ Corrélation issue de l'approche locale analytique

- Simulation des niveaux d'énergies cinétique et thermique représentatifs de particules induisant une modification de la structure du médium du filtre



$$\Delta CE(\text{Filtre}) = f(\text{Granulométrie}, \text{Température}, \text{Distance}, \text{Temps})$$

Vue de face

4.10 - Etude relatives au confinement dynamique aux postes de travail

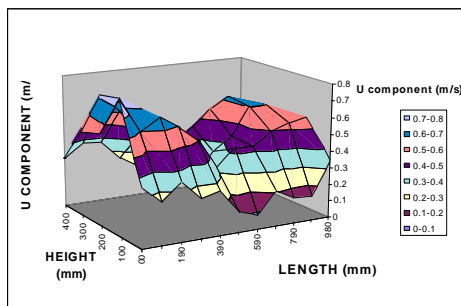
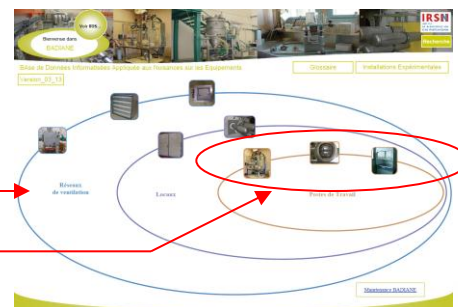
Sorbonne, BAG, hotte de captage, dispositif POUYES.....SAS en cours

► Objectifs du programme d'études mené à l'IRSN

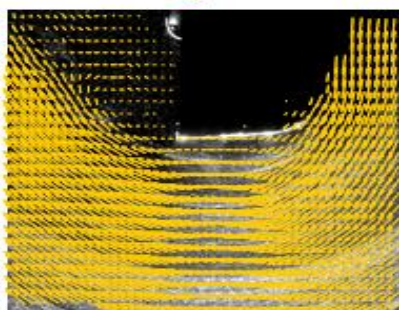
- > Acquérir des connaissances sur les phénomènes de transfert d'aérocontaminants au travers de barrières de confinement dynamique en situations normale ou accidentelle,
- > Quantifier les grandeurs relatives aux performances des dispositifs étudiés,

> Capitaliser les résultats acquis dans une base de données **BADIANE**.

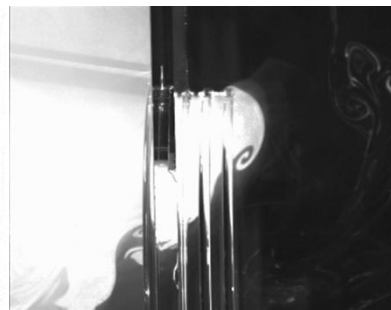
données relatives aux postes de travail



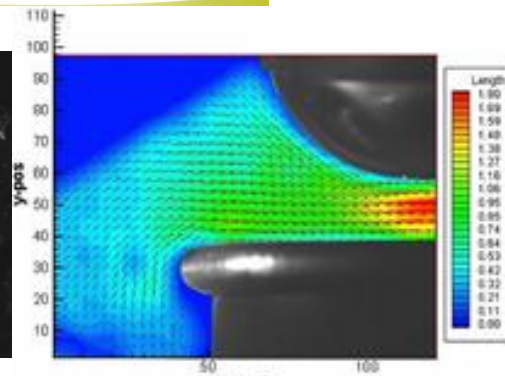
Cartographie LDV sur sorbonne



Plan PIV au bord de l'ouverture sorbonne



Visualisation rétrodiffusion À l'ouverture RDG/BAG

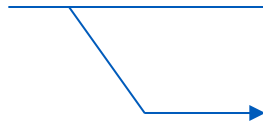


Plan PIV sous l'anneau de POUYES

4.11 - Etude relatives au confinement dynamique aux postes de travail

Programme SAS

- Programme d'études mené en collaboration avec EDF/CIDEN dédié à la détermination des critères pertinents garants de l'efficacité du confinement dynamique d'un SAS souple : expérimentations menées à l'échelle 1



- Thèse IRSN/EDF (2014-2017) dédiée aux mécanismes de transfert aérodynamique au travers d'ouvertures d'enceintes de chantier.
 - > Caractérisation *expérimentale (échelle réduite) et numérique* des transferts de polluant potentiellement émis à l'extérieur d'une enceinte à parois souples en fonction **de la dépression interne, des caractéristiques de l'ouverture, des perturbations internes et externes, de la nature du polluant.**
 - > **Evaluer la capacité des modèles de turbulence à restituer les inversions locales des écoulements d'air (fluctuations transitoires)**

4.12 - Etude relatives au confinement dynamique aux postes de travail

Thèse relative au Programme SAS

◆ Démarche

Approche CFD adaptée aux phénomènes très instationnaires (DNS, LES, RANS-LES)
Validation expérimentale

◆ Outils numériques et expérimentaux

Logiciels CFD utilisés à l'IRSN (ANSYS, CALIF³S) et à l'IMFT (JADIM)
Moyens métrologiques : traçage gazeux et particulaire, diagnostics optiques (LDV, PIV haute cadence)

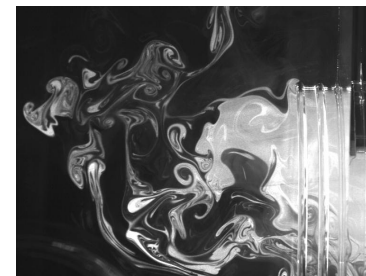
◆ Déroulement de la thèse

Etude bibliographique
Identification des approches numériques et des modèles de turbulence
Choix des types d'ouvertures
Etude expérimentale et numérique

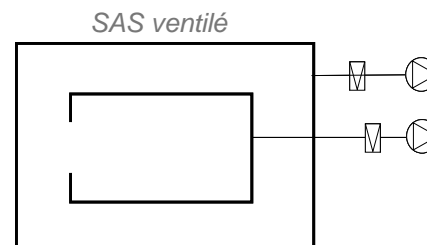
—> Etude des paramètres influents pour les différents types d'ouvertures retenus (dimensions, perturbations, localisation,...)

◆ Validation finale à échelle 1 (sas ventilé)

Visualisation de rétrodiffusion à l'ouverture BAG



Technique LDV à l'ouverture BAG



5 – Capitaliser le REX / Normalisation

► Ces principes de confinement ont vocation à évoluer et à s'enrichir en fonction du REX sur les chantiers en cours et à venir, à EDF et chez d'autres exploitants :

- Recenser les bonnes pratiques.
- Capitaliser le retour d'expérience.

► La conception et l'exploitation des confinements :

- Un effet de série certain.
- Possibilité de mutualiser l'ingénierie amont.
- Nécessité de conserver une souplesse importante (spécificités des chantiers)

► Une Norme NF/ISO de confinement ds chantiers en projet

- Normaliser nos pratiques de confinement des chantiers, base validée par les exploitants nucléaires et par l'IRSN (qui participe au groupe de normalisation) sur un socle d'exigences raisonnables.
- Etat d'avancement : Un texte donnant les principales exigences.
- Partenaires : EDF, ITER, AREVA, IRSN, CERAP, MSIX...
- Champ d'application : Chantiers de démantèlement mais aussi aux chantiers nucléaires type maintenance en centrale.