



## Evaluation et Réduction du risque chimique dans les filières de traitement DEEE



■ Notre métier,  
■ rendre le vôtre plus sûr







# Objectifs de la démarche INRS dans les filières DEEE

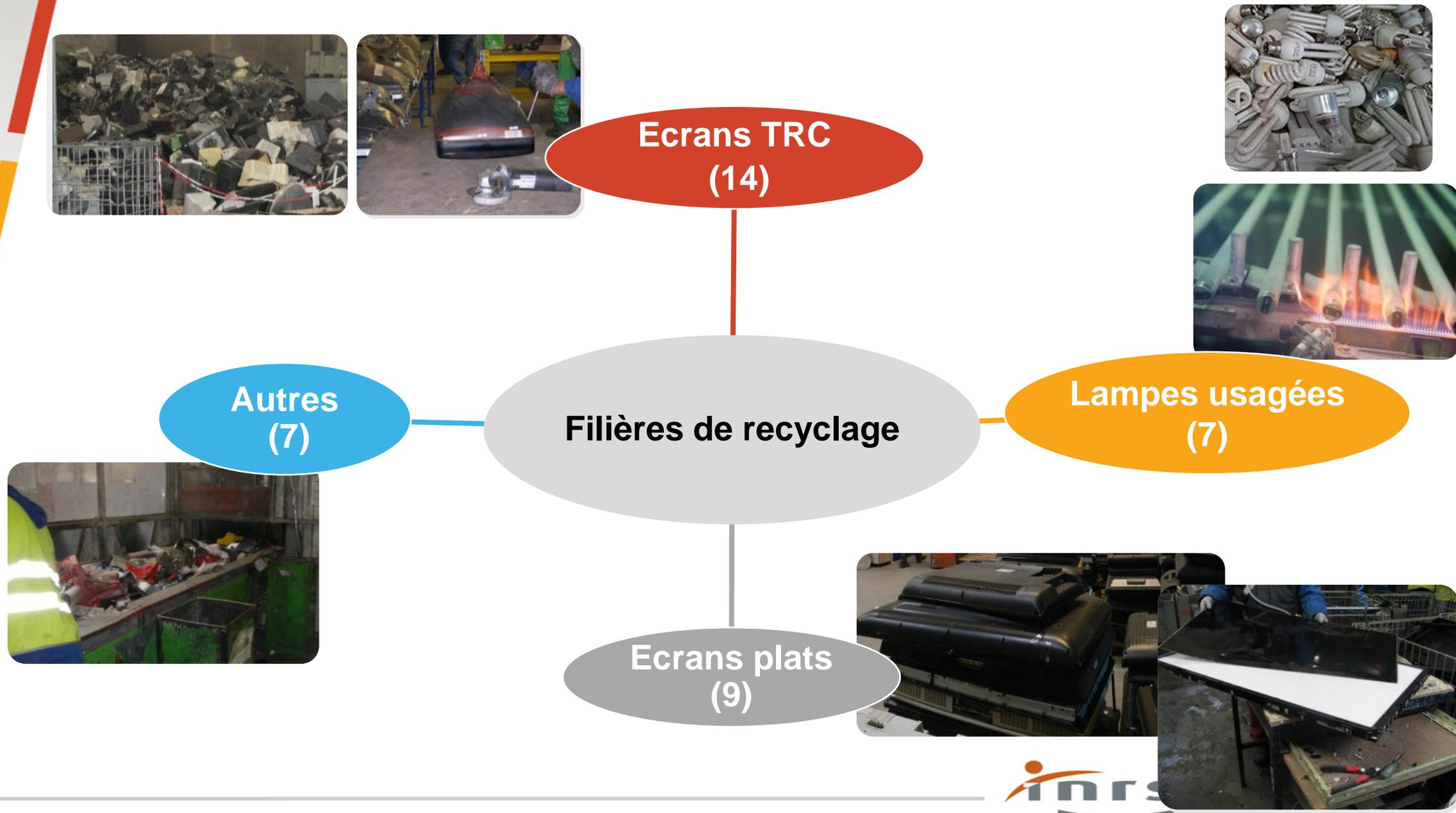
## Etape 1 : Evaluer les risques

- Evaluation des expositions professionnelles
- Evaluation des procédés et des activités
  - Cartographie des expositions
- Identification et hiérarchisation des filières et des opérations pour actions prioritaires

## Etape 2 : Réduire les risques

- Proposition d'un panel de solutions de prévention
- Orientation des filières émergentes vers des procédés propres (convention avec Ecosystèmes)
- Communication : former / informer (publications scientifiques, brochures, dépliants, affiches, audiovisuels)

# EvRC - Campagnes de mesures dans les principales filières à risque



# Méthodologie de mesures au cours des interventions



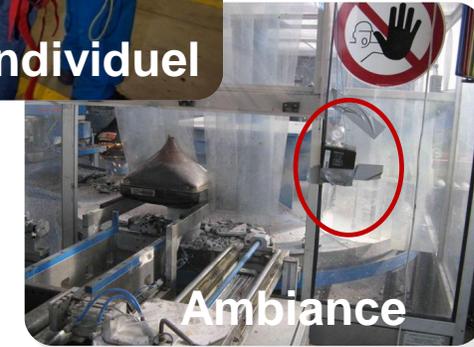
**Exposition atmosphérique**

(ind, ambiance)



**Individuel**

**Mesures de ventilation**



**Ambiance**

**Evaluation du RC**

**Mesures en temps réel**

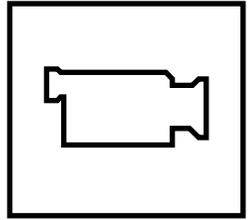
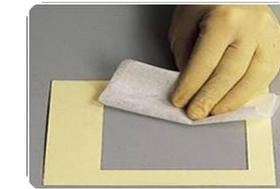
(Identification des sources polluantes)

**Exposition surfacique**

(peau et surface de travail)



**Recueils urinaires**



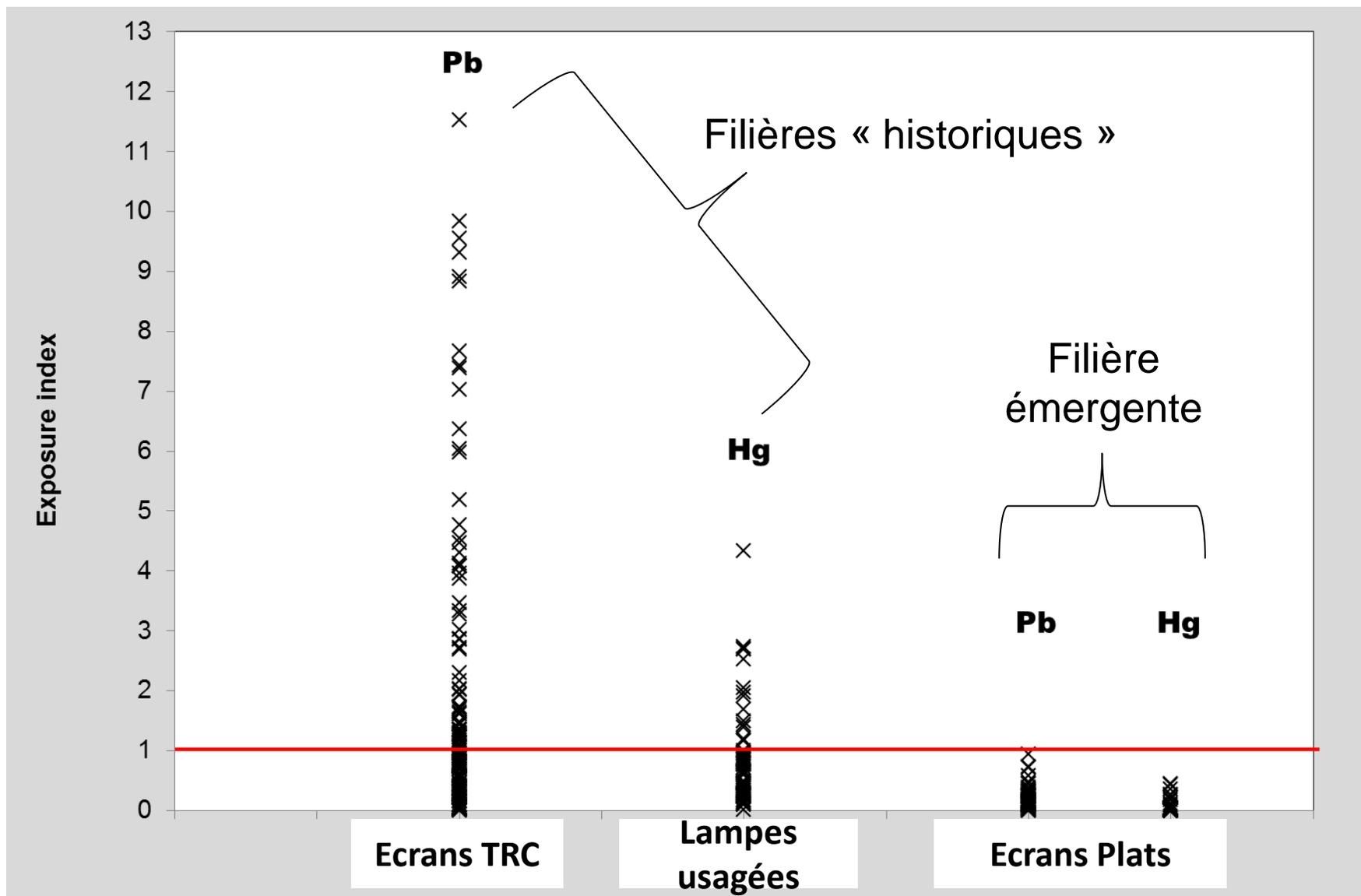
# Synthèse des campagnes de mesure

- 40 unités de traitement évaluées
- 2000 points de prélèvements
- 25 éléments chimiques analysés :
  - Métaux : Al, Ba, Be, Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, La...
  - Terres rares : Y, Er, Eu, Gd, Pr, Tb, Yb



➔ Présentation des résultats d'évaluation selon 4 approches...

# Approche 1 - Niveau d'exposition des principaux polluants par filière



# Approche 2 - Probabilité d'expositions par opération de traitement

## Exemple de la filière Ecrans TRC

**Démantèlement écrans**

Probabilité de dépassement VLEP Pb: **12%**

**Préparation du tube cathodique**

**35%**

**Découpe bande anti-implosion (meuleuse)**

**86%**

**Traitement des tubes**

**41%**

Procédé 2



**Broyage**

**99%**



Procédé 1

**Découpe du tube**

(Fil chaud, disque diamanté)

**28%**

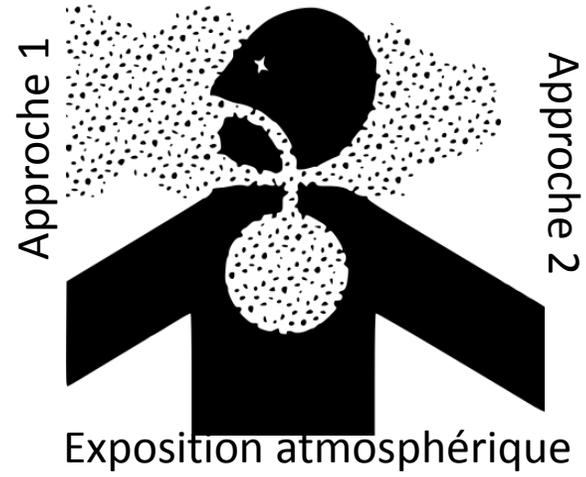


**0%**



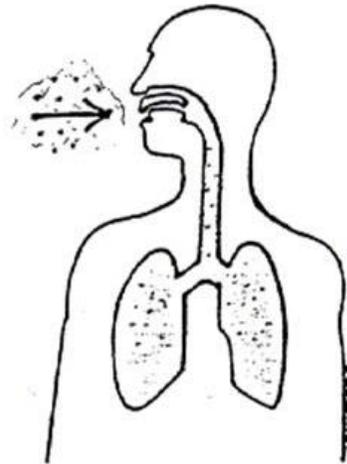
**é du**

\* sur évalué, représentatif!?



## Différentes voies de pénétration / contamination dans l'organisme

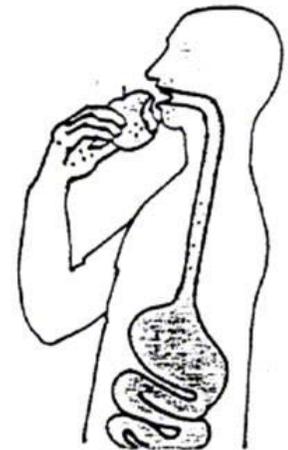
Respiratoire (inhalation)



Cutanée (pénétration/perméation)

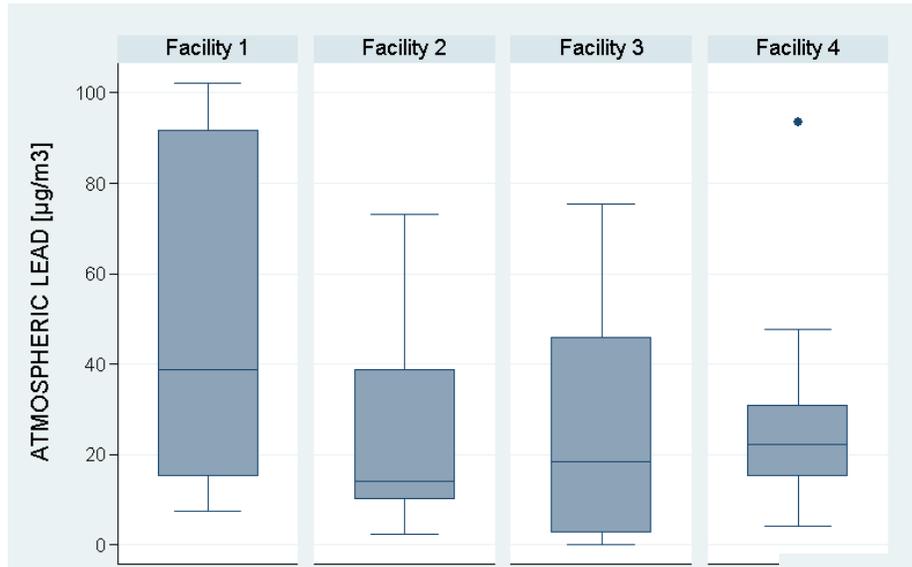


Digestive (ingestion)

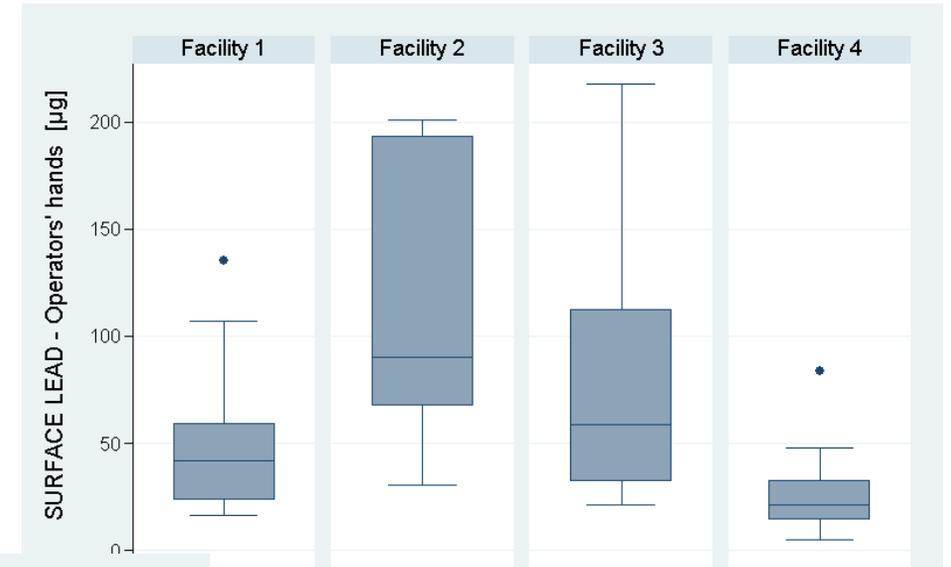


# Approche 3 - Comparaison de différentes expositions

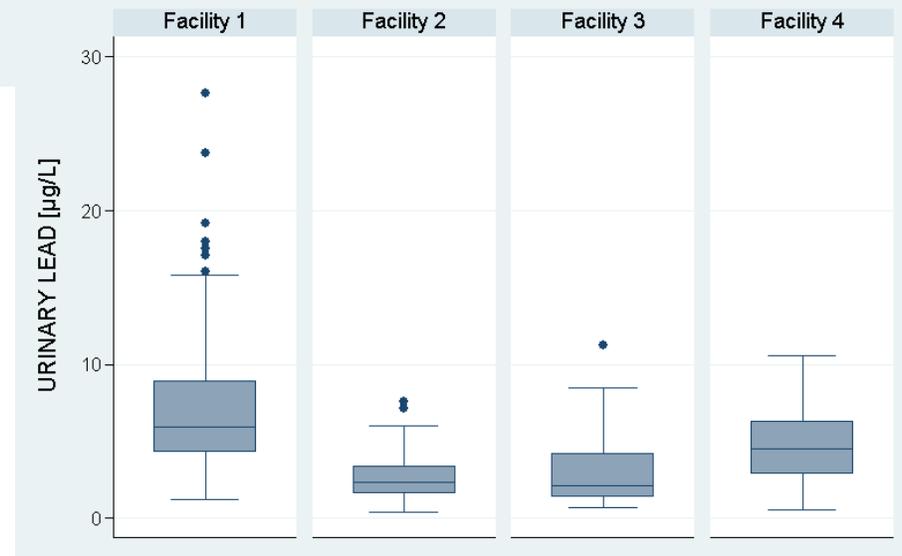
## Cas de la filière des écrans plats



Exposition atmosphérique



Exposition surfacique (peau)



Excrétion urinaire (Indicateur d'expositions atm., surf. et digestive)

## Approche 4 - Analyse statistique globale des corrélations entre « exposition » et « conditions de travail » par réseaux bayésiens

### ➤ Facteurs relatifs à l'activité

- Type de déchet traité
- Tâche réalisée par l'opérateur
- Flux de traitement annuel

➔ Flux au poste de travail ↑ , Exp. ↑

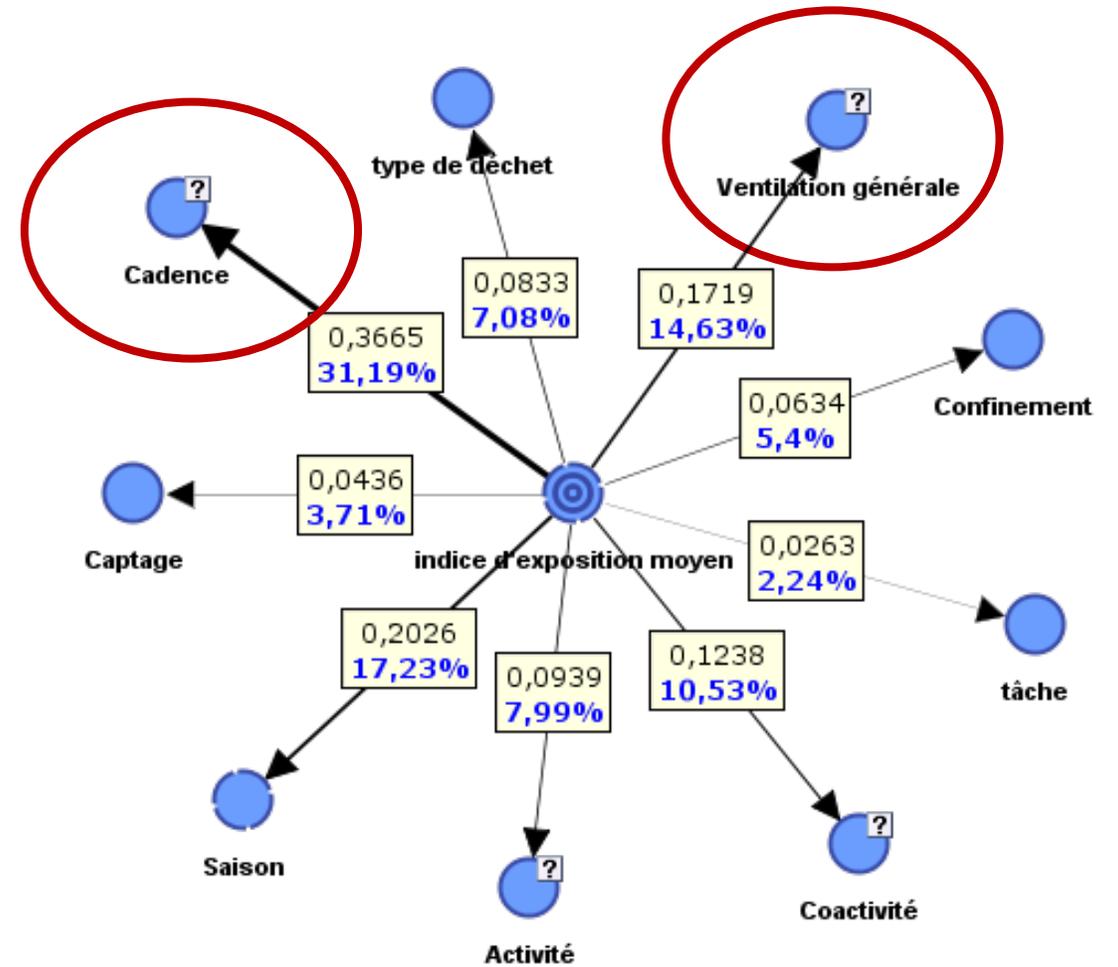
### ➤ Facteurs environnementaux

- Co-activité
- Saisons

### ➤ Mesures de prévention

- Confinement
- Captage

➔ Ventilation générale ON , Exp. ↓

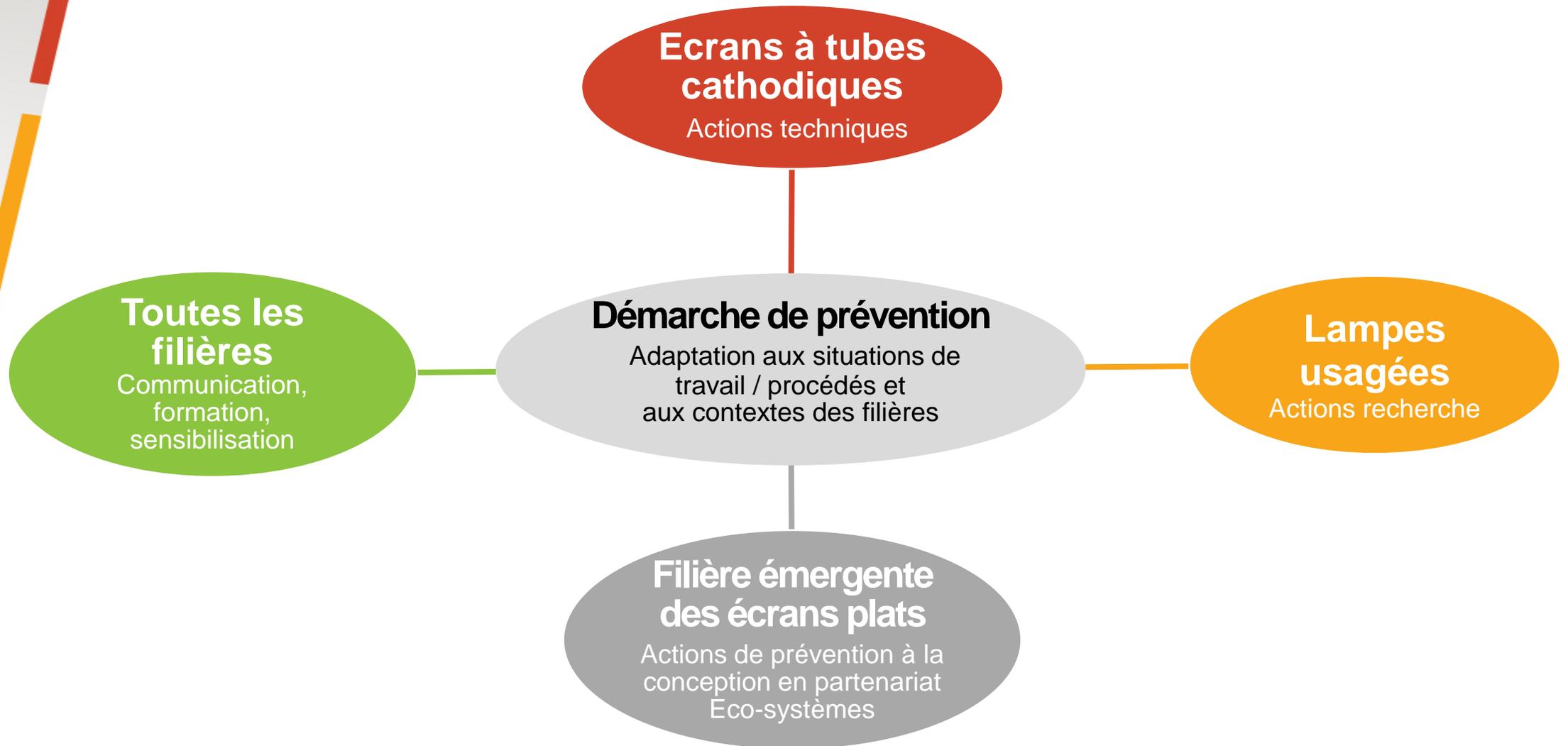


➔ Mesure prévention: Importance de la gestion des flux et d'une ventilation générale

## Conclusion de l'EvRC

- Niveaux d'exposition préoccupants sur les filières de traitement des DEEE
  - Principalement dans les filières « historiques » (dépassements de VLEP sur des composés CMR)
  - Amélioration dans les filières émergentes
    - Prise en compte du risque chimique en amont sur les procédés
- Mise en relation des typologies de procédés et des expositions
  - Orienter vers les procédés les moins exposants
- Identification des opérations et des procédés les plus à risque pour des Actions de prévention dédiées, par filière

## Mesures de prévention



# Filière TRC - Démantèlement des écrans à tubes cathodiques



## 1. Dosseret aspirant

- Capturer les poussières au plus près de la source d'émission et éviter que l'opérateur soit placé entre la source d'émission et le dispositif de captage (ED 695)



- Dispositif robuste et efficace mais non applicable à l'ensemble des configurations des postes de travail



## 2. Plénum et aspiration

- Dispositif de ventilation : plénum soufflant pour un apport d'air extérieur non pollué et aspiration des poussières au niveau de la table de travail



**Plénum (1200x700x300 mm)** : diffuseur laminaire avec double paroi perforée

$U_{\text{moy}} = 0,5 \text{ m/s}$

$Q = 1300 \text{ m}^3/\text{h}$

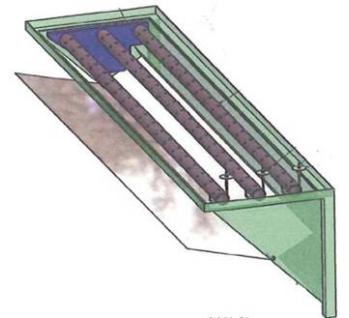
$T = 18,3 \text{ }^\circ\text{C}$

**Aspiration (1000x300 mm<sup>2</sup>)**

$U_{\text{moy}} = 0,4 \text{ m/s}$

$Q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$

$T = 19,1 \text{ }^\circ\text{C}$



## 2. Plénum et aspiration



- Répartition d'air uniforme et panache de fumée aspiré par le système d'extraction



Absence de courant d'air

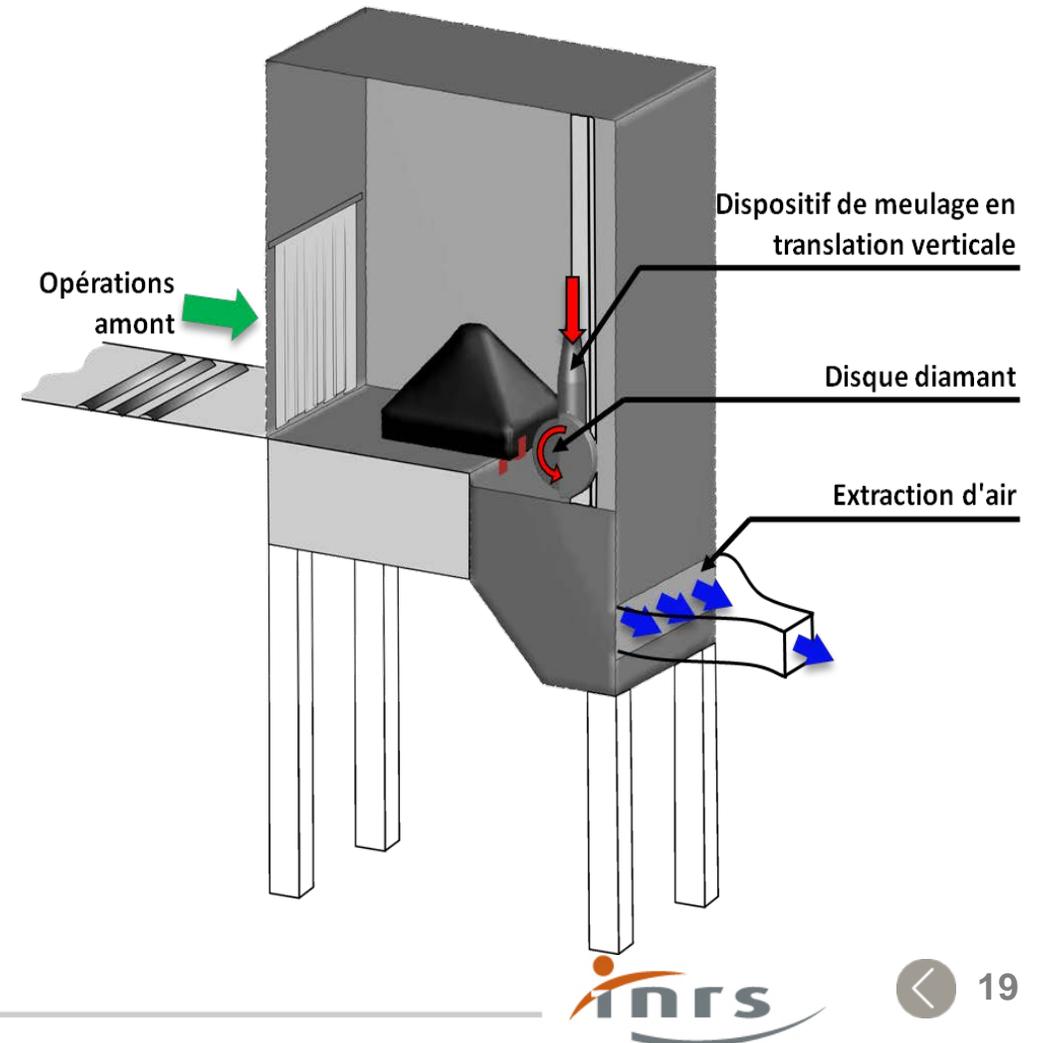
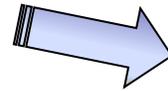
$T_{\text{ext}} - T_{\text{int}} \leq 2 \text{ °C}$



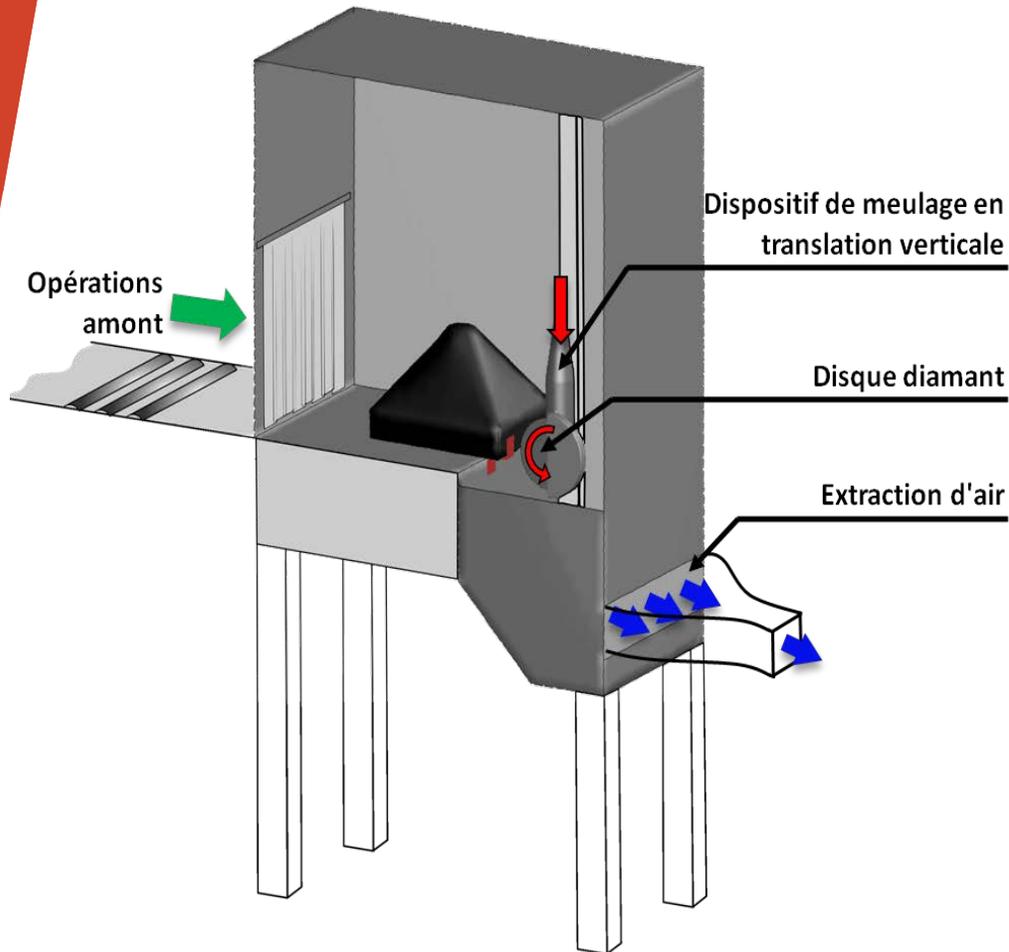
→ Evaluation de l'efficacité des performances du dispositif  
**Efficacité ~ 90%**

## Filière TRC - Découpe de la bande anti-implosion (BAI)

- Découpe BAI à la meuleuse portative : procédé très exposant
- Conception numérique d'un poste de travail ventilé



## Filière TRC - Découpe BAI

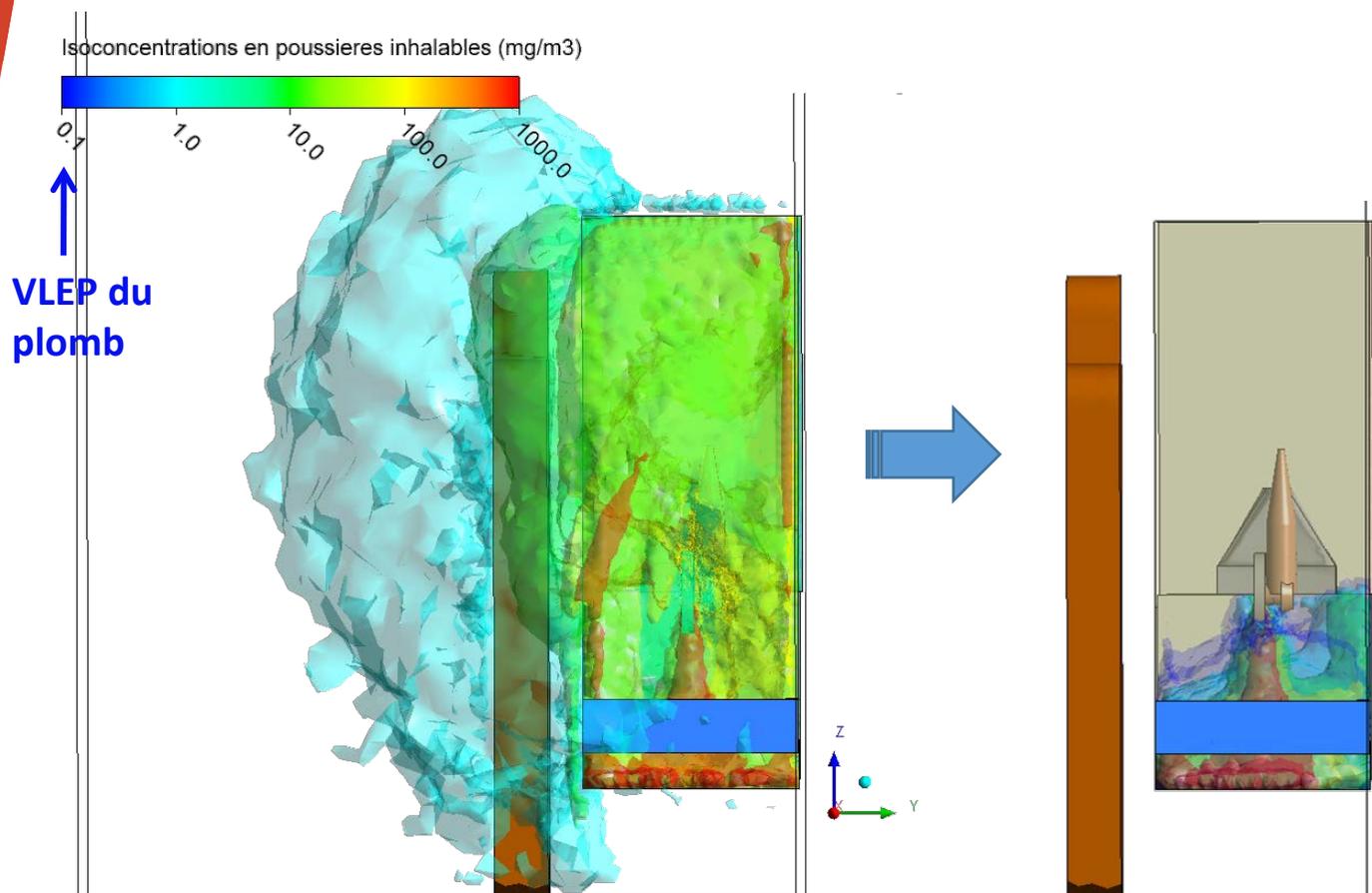


- Adapté aux  $\neq$  tailles et formes de tubes existants
- Axe et sens de rotation choisis pour :
  - > Diriger le jet de particules émises par meulage dans le tiroir de récupération
  - > Confiner les poussières dans l'enceinte ventilée, en plaçant l'axe de rotation face à l'opérateur
  - > Bénéficier de l'effet de pompage axial de l'air engendré par la rotation du disque
- Extraction : placée au fond du tiroir de récupération des déchets pour assurer le captage des polluants émis

- ✓ Evaluation de l'efficacité du dispositif par simulation numérique des écoulements d'air et de particules (code Fluent)
- ✓ Etude de l'influence de la vitesse de rotation du disque, de l'extraction d'air (marche/arrêt) et de la présence/absence de l'opérateur

## Filière TRC - Découpe BAI

- Résultats de simulation numérique des écoulements autour du poste de travail - Surfaces iso-concentrations en poussières inhalables calculées

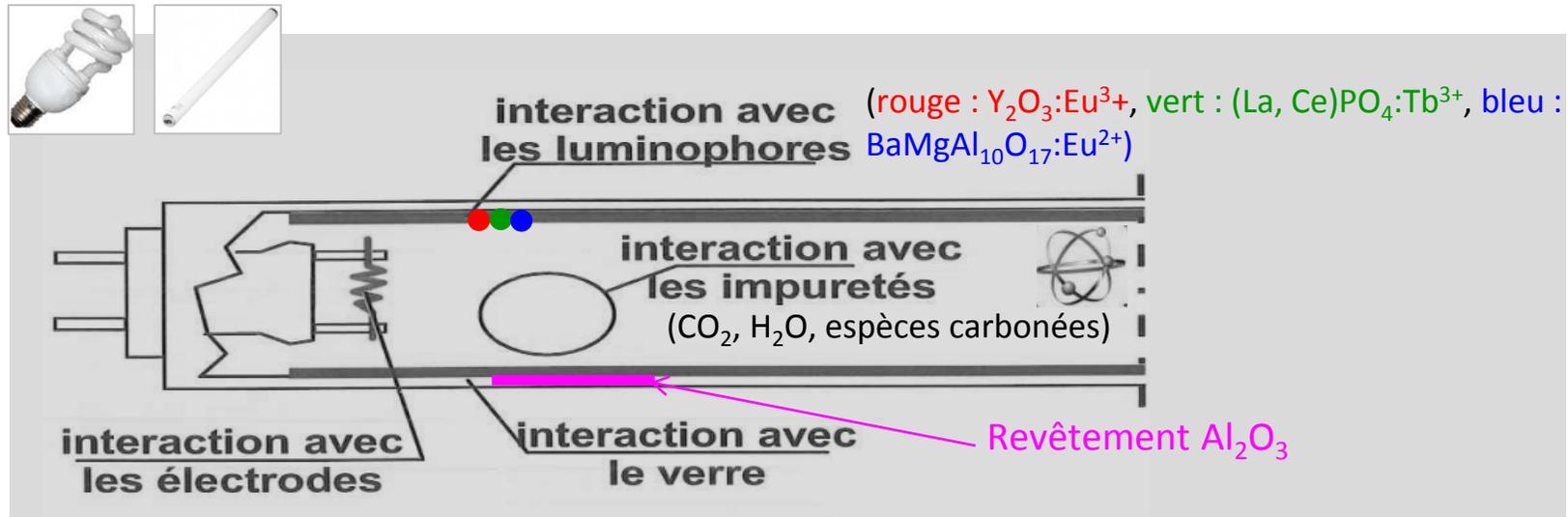


Vue latérale, capture à l'arrêt

Vue latérale, capture en route

- **Capture** assure l'assainissement de l'air dans la zone où évolue l'opérateur
- Confinement du polluant robuste
  - ✓ Pas d'influence de l'opérateur
  - ✓ Pas d'influence de la vitesse de rotation et d'éjection des particules (3000-> 6000 tr/min)
- Débit théorique 760 m<sup>3</sup>/h suffisant pour protéger l'opérateur aux poussières de  $d_{ae} < 100 \mu\text{m}$

# Filière lampes usagées - Problématique du mercure

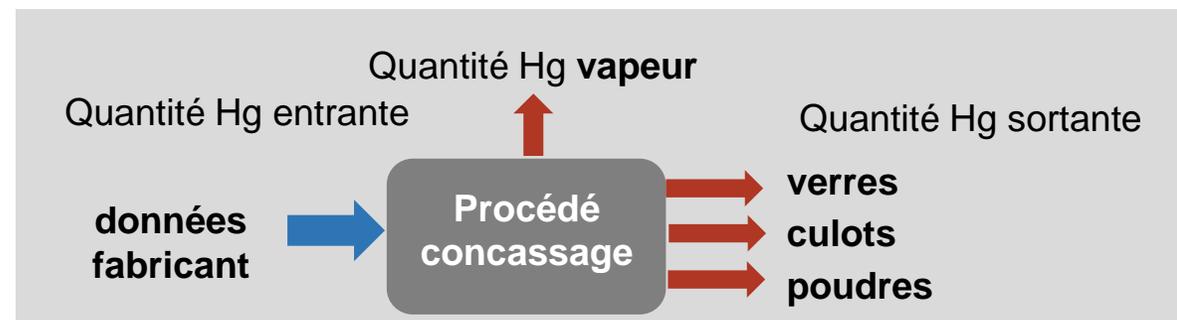
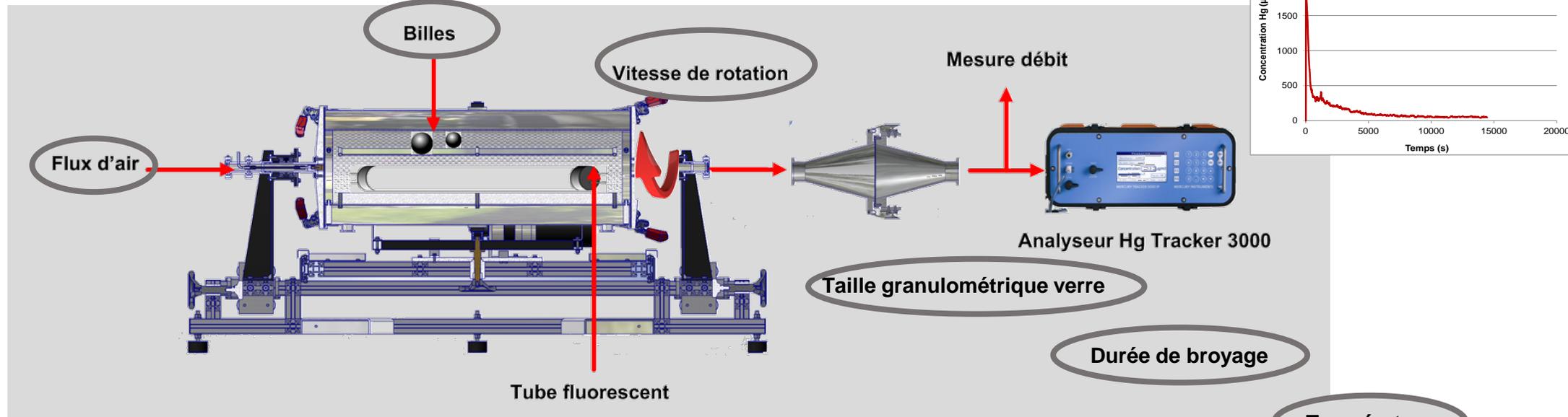


- Traitement des lampes : broyage + séparation → valorisation des fractions
- Procédés avec captage + confinement mais désorption du Hg présent dans les fractions valorisables → exposition des opérateurs
- Recherche pour :
  - Comprendre le comportement du mercure dans les lampes
  - Optimiser les procédés de traitement pour réduire les concentrations en Hg dans les fractions broyées



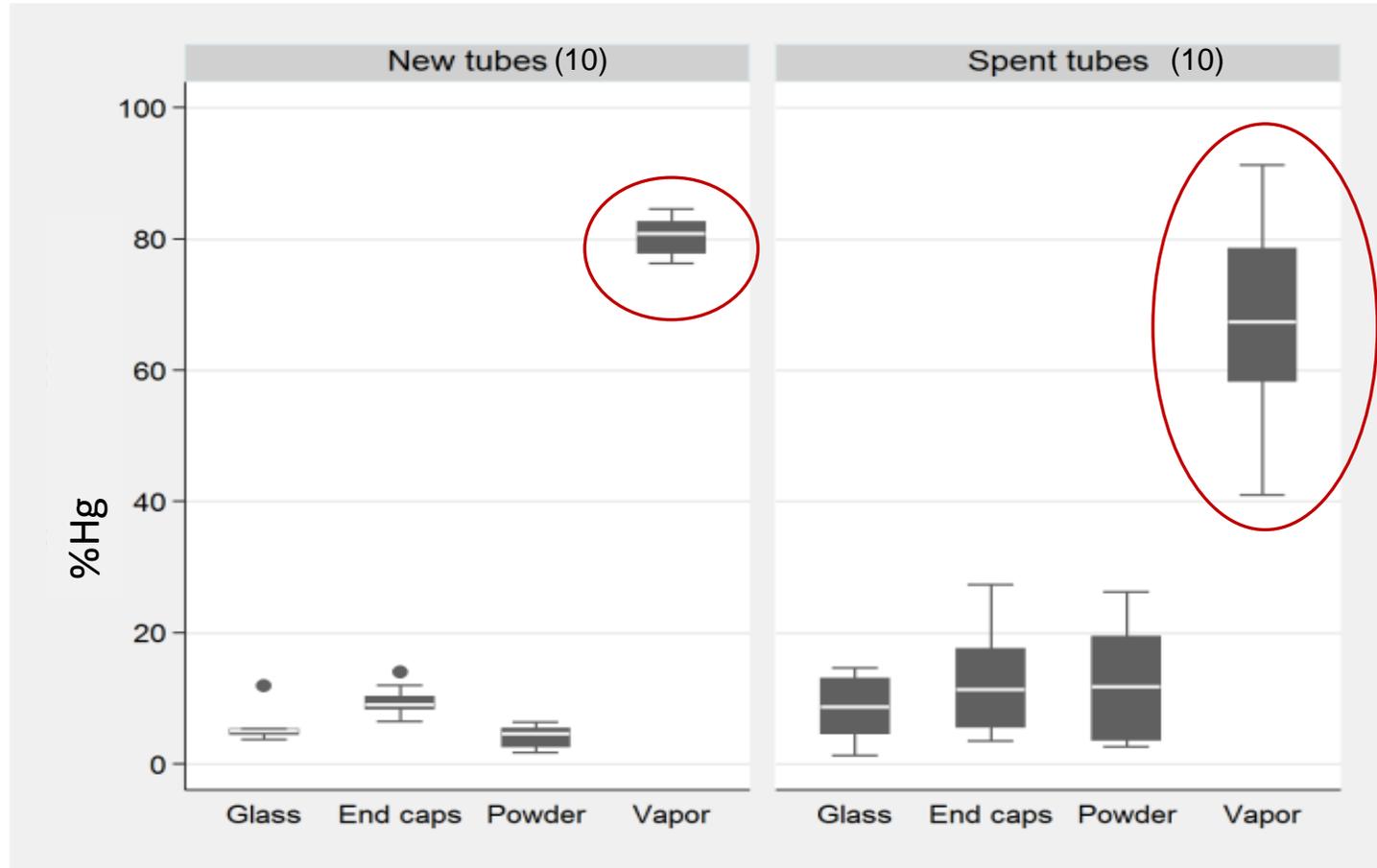
# Filière lampes usagées - Répartition du Hg dans le broyat des lampes

➔ Bilan matière Hg



➔ Etude paramétrique : Influence des paramètres de broyage sur les quantités de mercure dans la phase vapeur et sur les fractions solides

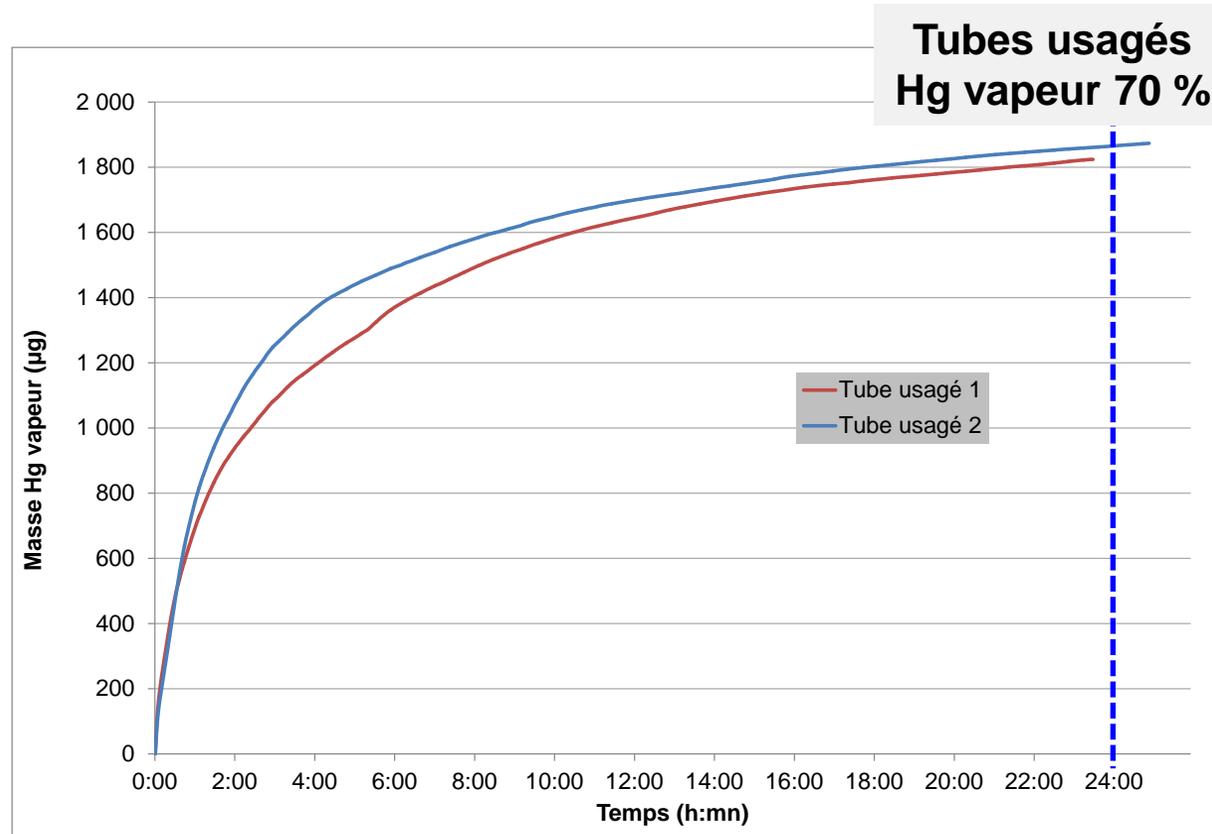
## Filière lampes usagées - Répartition du mercure dans le broyat des lampes



- Variations des % de Hg + importantes sur les tubes usagés que sur les tubes neufs
- ↗ interactions du Hg dans la matrice variant en fonction de la durée d'utilisation

# Filière lampes usagées - Décontamination du Hg sur le broyat des lampes

→ Influence de la durée de broyage



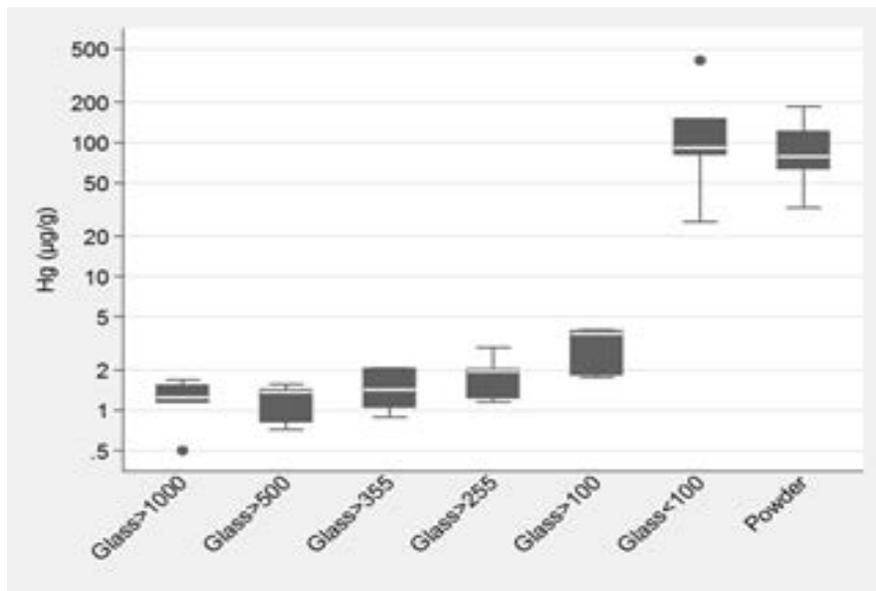
↗ de la durée de broyage favorise la désorption du Hg sur les fractions solides

## Filière lampes usagées - Décontamination du Hg sur le broyat des lampes

→ Influence du débit d'air, du nombre de billes et de la vitesse de rotation

- Pas d'influence significative de ces 3 paramètres

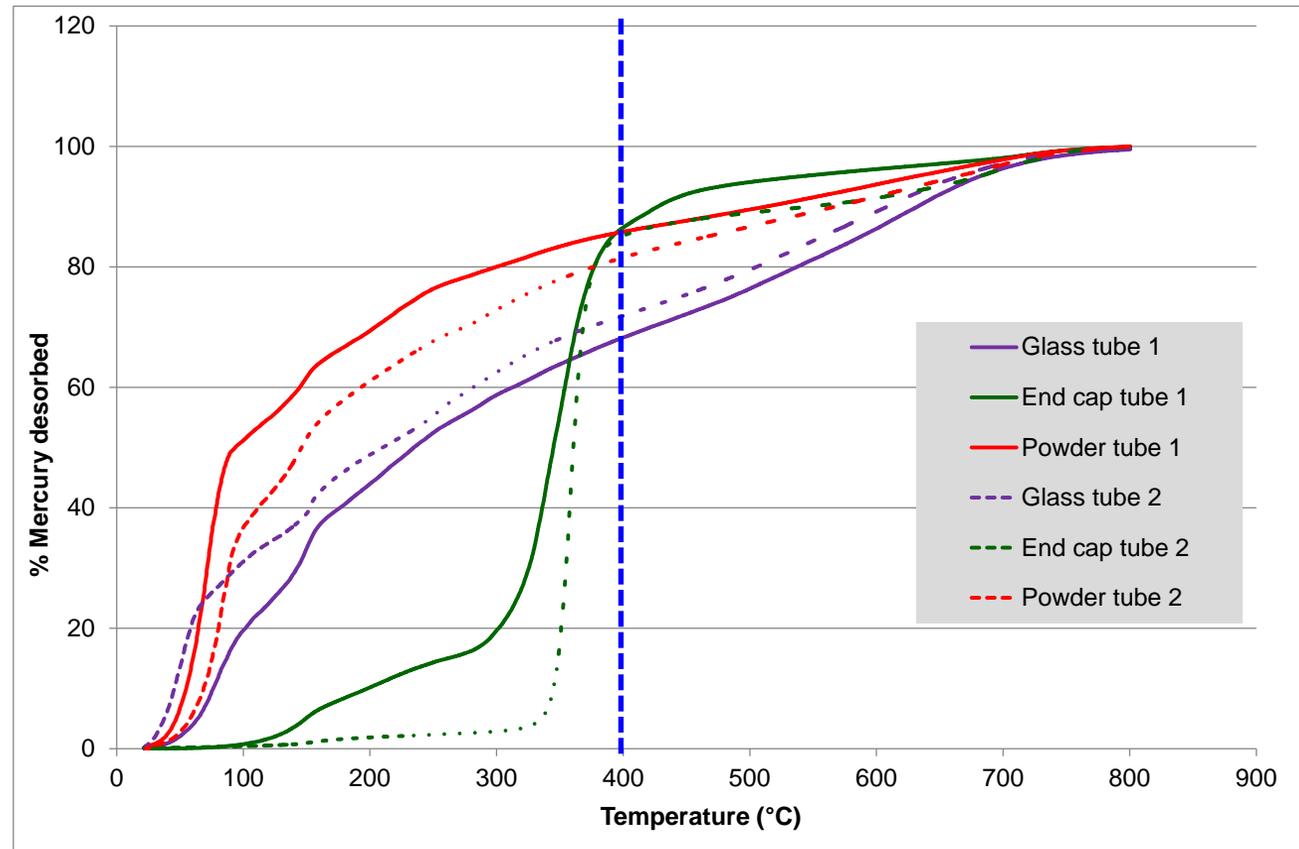
→ Influence de la taille granulométrique de la fraction verre



- Les concentrations en Hg sur la fraction verre dépendent de la taille granulométrique
- + taille granulométrique verre est faible, + les concentrations en Hg sont importantes

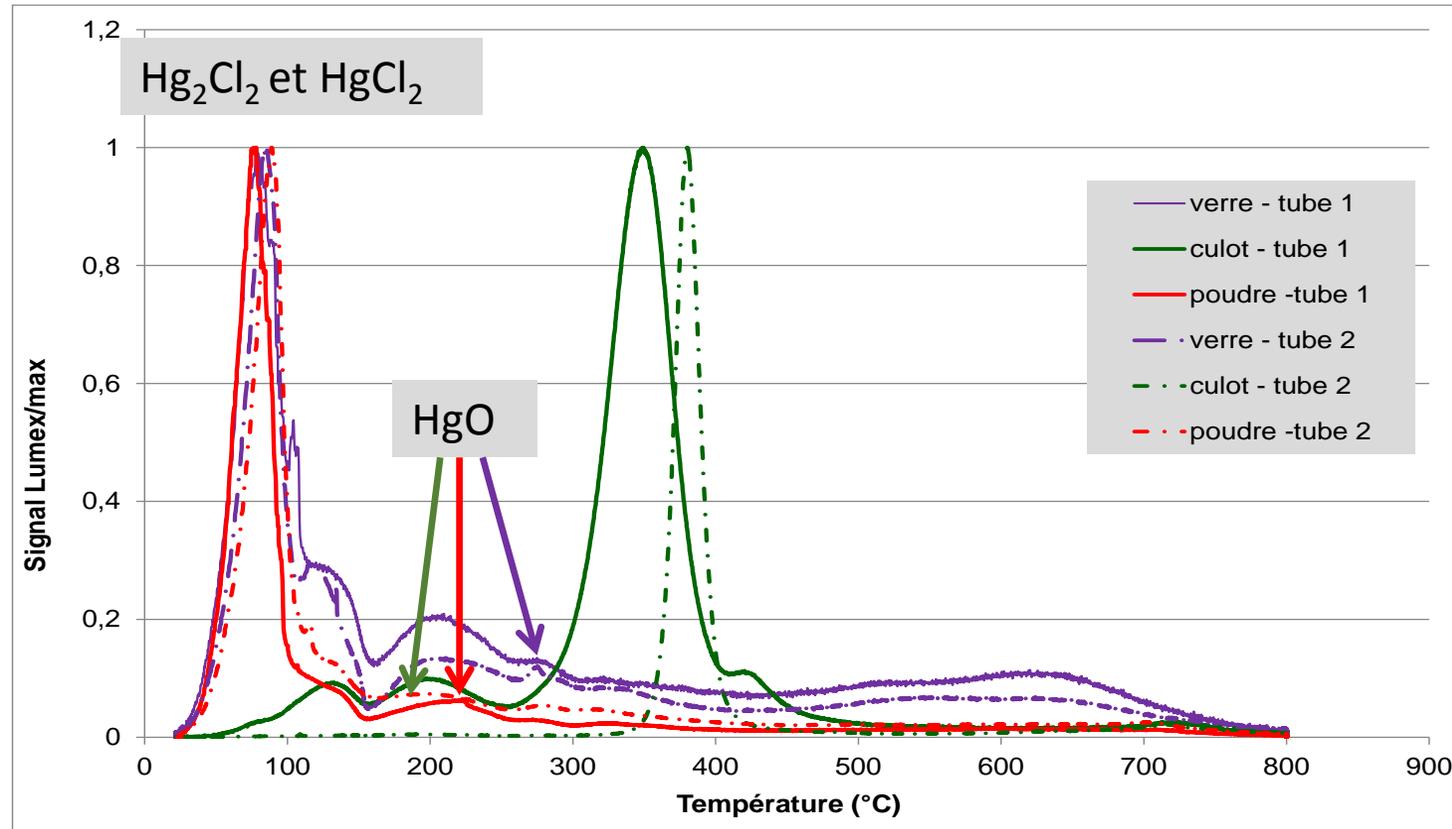
# Filière lampes usagées - Décontamination du Hg sur le broyat des lampes

→ Influence de la température (désorption thermique)



- Désorption du Hg varie en fonction des fractions
- Efficacités moy. de désorption à 400°C - verres : 69%, culots et poudres : 84%

## Filière lampes usagées - Spéciation du Hg



- Profils de désorption différents pour chacune des fractions et varient en fonction des lampes
- Identification dans les fractions solides de différents composés dérivés du Hg dont la toxicité varie



## Filière des lampes usagées

- Quantité de Hg dans chacune des fractions varie en fonction de la durée d'utilisation des lampes
- Hg présent sous différentes formes ( $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg}^+$  et  $\text{Hg}^{2+}$ ) en quantité variable sur les fractions solides
- Pour épurer le Hg à la source et réduire les teneurs en Hg dans les fractions solides
  - ✓ Optimisation des paramètres de broyage : granulométrie du verre, temps de séjour dans le broyeur, température
  - ✓ Perspectives
    - Influence de la vapeur d'eau et additifs
    - Combinaison des facteurs influents
- Rédaction d'une publication scientifique en cours

## Toutes filières confondues - Démarche de prévention générale

En complément des mesures de prévention techniques, il convient de :

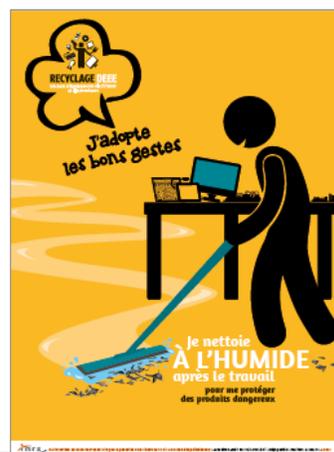
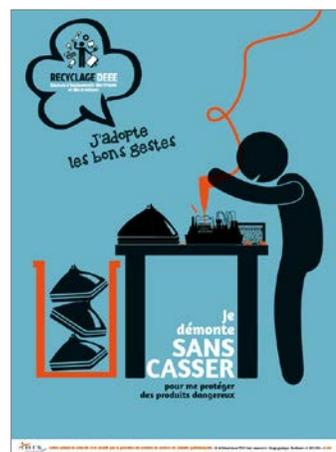
- Respecter les règles d'hygiène pour éviter la contamination par des polluants des opérateurs et de leur entourage
- Choisir les EPI en fonction du risque et du travail à effectuer, nettoyage et stockage
- Nettoyer le poste de travail et les locaux à l'humide pour limiter les émissions de poussières
- Mettre en place une surveillance médicale
- Réaliser des contrôles réguliers de l'exposition des salariés par un organisme accrédité

# Toutes filières confondues - Démarche de prévention générale

- Communiquer, former et sensibiliser le personnel aux différents risques liés à la présence de substances dangereuses
  - Brochures INRS (groupe de travail : CARSAT, Eco-systèmes, Recylum, INRS)



- Affiches (INRS, Eco-systèmes)



# Toutes filières confondues - Démarche de prévention générale

- Dépliant (INRS, Eco-systèmes)

**LES DÉCHETS D'ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES ET ÉLECTRONIQUES CONTIENNENT DES PRODUITS CHIMIQUES DANGEREUX POUR MA SANTÉ**

Quand je les manipule, j'adopte les bons gestes pour limiter les risques de contamination.

**Pour vous aider**

La prévention de l'exposition à des agents chimiques dangereux passe tout d'abord par des mesures de protection collective mises en place par votre employeur :

- ▶ L'installation d'une ventilation générale et de systèmes de captage à la source des polluants.
- ▶ La formation des salariés aux produits chimiques rencontrés et aux équipements de protection adaptés.
- ▶ La mise à disposition de vêtements de travail.
- ▶ La mise à disposition d'équipements de protection individuelle : gants, masques respiratoires adaptés aux polluants.
- ▶ La mise à disposition d'installations sanitaires (vestiaires, douches).

**RECYCLAGE DEEE**  
Déchets d'équipements électriques et électroniques

**J'adopte les bons gestes**

**JE DÉVISSE, JE DÉBOULONNE, JE DÉBOULONNE mais je ne casse pas !**

**POURQUOI ?**  
> Quand je casse un appareil, je provoque la libération de substances dangereuses qui contaminent mon atmosphère de travail et celle de mes collègues. Les éclats générés lors de la casse peuvent occasionner des blessures et des coupures.

**J'adopte les bons gestes**

**JE PORTE mes équipements de protection individuelle (EPI)**

**POURQUOI ?**  
Les EPI adaptés me protègent.  
> Quand je porte un appareil de protection respiratoire (APR), j'évite de respirer des poussières dangereuses.  
> Quand je porte des gants, lunettes et chaussures de sécurité, je réduis les risques de coupures et autres blessures.

**J'adopte les bons gestes**

**ATTENTION !**  
Je range mes EPI dans un sac propre pour éviter qu'il se contamine et se transforme.

**JE ME LAVE LES MAINS ET LE VISAGE avant chaque pause. JE ME LAVE ET JE ME CHANGE quand j'ai fini ma journée.**

**POURQUOI ?**  
Mes mains et mes vêtements de travail transportent des substances chimiques dangereuses.  
> Quand je ne respecte pas les règles d'hygiène élémentaires, je peux me contaminer en mangeant.  
> Quand je quitte mon travail, je peux aussi contaminer ma voiture, ma maison et même mon entourage.

**J'adopte les bons gestes**

**J'HUMIDIFIE LES SURFACES à nettoyer**

**POURQUOI ?**  
> Quand je balaie des surfaces sèches, je mets en suspension les poussières toxiques.

**J'adopte les bons gestes**

**Les substances chimiques dangereuses que l'on peut rencontrer dans certains DEEE :**  
Le plomb  
Le cadmium  
Le mercure

**DEEE**

**INRS**  
Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris - Tél. 01 40 44 30 00 - info@inrs.fr  
Édition INRS ED 6285 - décembre 2016 - 10000 ex. - ISBN 978-2-7389-2281-6  
Design graphique : Ira Minem

**www.inrs.fr** YouTube Twitter LinkedIn

- Films (INRS, Eco-systèmes)

→ <http://www.inrs.fr/deee>

