

# BENEFICES DE L'EMPLOI D'UN MODELE NUMERIQUE POUR ETUDIER LE CONFINEMENT ET PREDIRE L'EXPOSITION DU PERSONNEL D'UN SERVICE DE MEDECINE NUCLEAIRE



*Thèse en ligne : <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00799380>*



FAURE QEI



Laboratoire Inter-universitaire  
des Systèmes Atmosphériques



# Pourquoi s'intéresser au Technegas® ?

- Solution privilégiée pour les **scintigraphies pulmonaires** (imagerie fonctionnelle par marquage radioactif).
- Constitué de particules de graphite marquées au **technétium ( $^{99m}\text{Tc}$ )**.
- Aérosol radioactif (émission gamma d'énergie 141 keV; période de 6h).
- ~150 générateurs en France (~2000 dans le monde).
- ~40 000 examens par an (France).

→ **Contamination potentielle** (~400 MBq utilisés par examen)

→ **Peu de données** sur les émissions dans l'environnement

→ **Détection difficile par les moyens habituels**

1<sup>er</sup> modèle  
(avant 2006)



2<sup>ème</sup>  
modèle



Creuset en  
graphite d'où  
provient l'aérosol



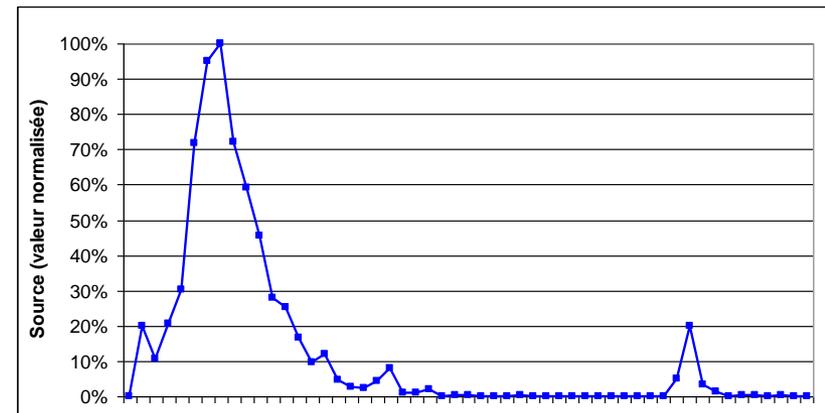
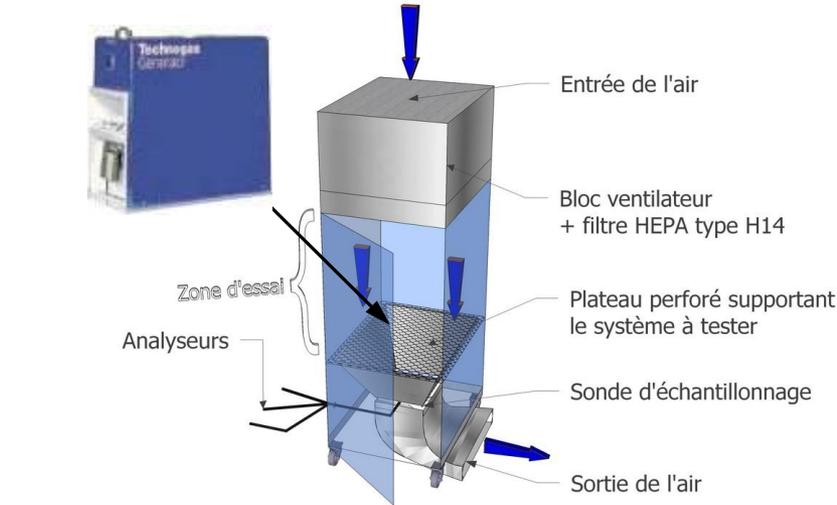
Quelles informations sur la source ?

# Résultats concernant les émissions de Technegas®.

- Une enceinte d'essai a été développée et caractérisée pour étudier les émissions des générateurs.
- Nous avons mesuré les caractéristiques des émissions des générateurs de Technegas® (Bombardier et al. 2012 dans *Radioprotection* Vol. 47 n°4).
  - la dynamique d'émission,
  - la granulométrie,
  - la répartition de la radioactivité : ~24 MBq émis dans la pièce (soit ~6 % de l'activité initiale).

Remarque : L'activité émise dans la pièce  $\approx$  activité déposée dans les poumons du patient.

→ La source d'émission radioactive peut être exprimée sous forme transitoire (Bq/sec).



Comment étudier la dissémination de ces particules radioactives ?

## Objectifs & approche expérimentale.

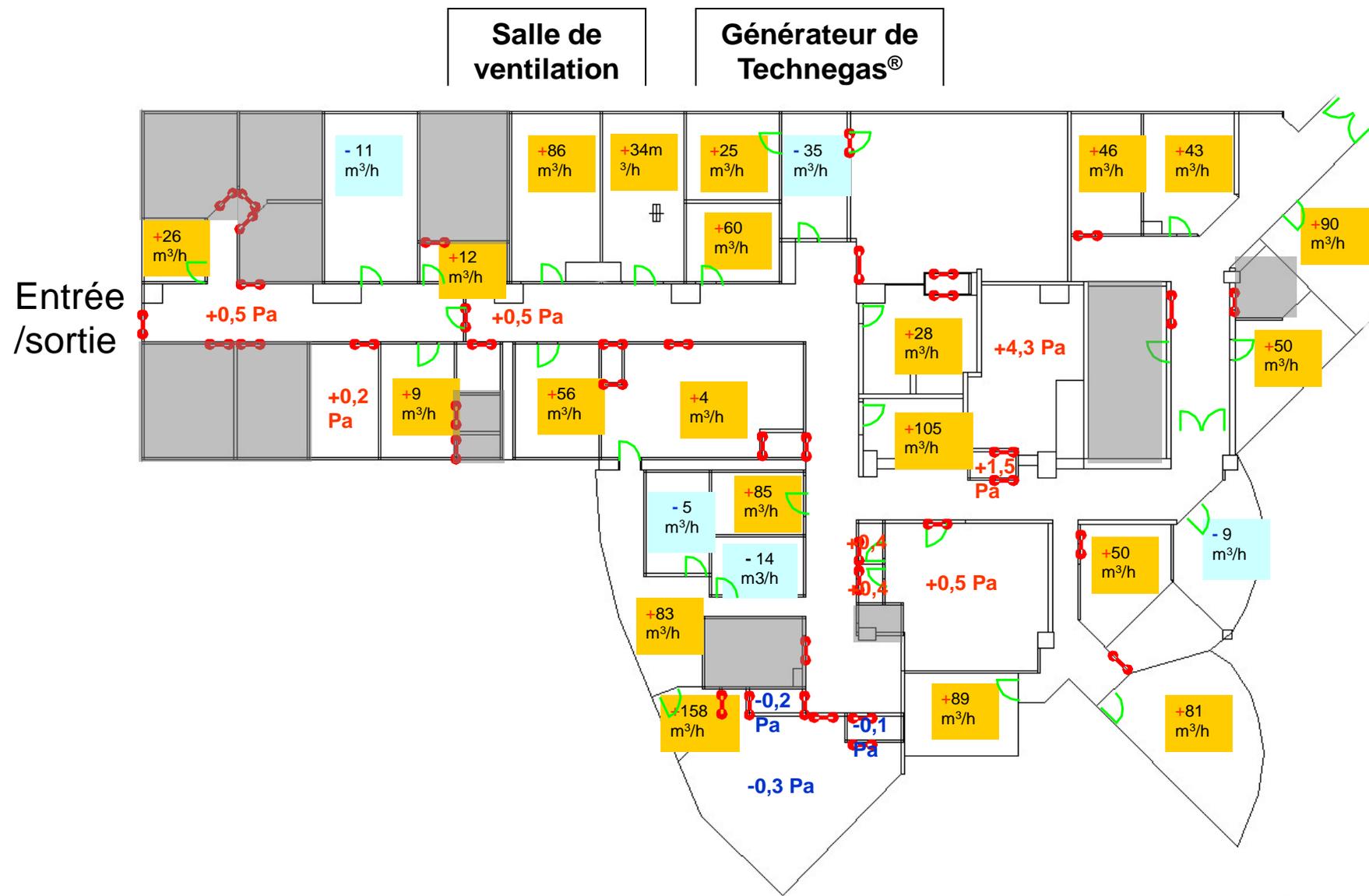
1. **Constituer un modèle numérique 3D réaliste.**
2. **Simuler des émissions**
  - **Etat initial**
  - **Variables d'environnement (portes, convecteurs)**
  - **Corrections techniques (débits, pressions, étanchéités)**
3. **Relier la contamination de l'air à l'exposition (données de position des personnes)**



### Approche expérimentale :

- **Choix d'un service** de médecine nucléaire pour l'étude : CHU de Lyon sud.
- Choix du **logiciel** : Flovent® de Mentor Graphics.
- Construire le modèle.
  - **Données architecturales.**
  - **Mesures aérauliques** (débits soufflés et extraits, pressions différentielles, fuites des portes).
- **Comparer** les résultats de simulation à des **mesures** (trajectoires préférentielles, concentrations, décroissance).
- Analyser la **position** du personnel en fonction de l'activité professionnelle.

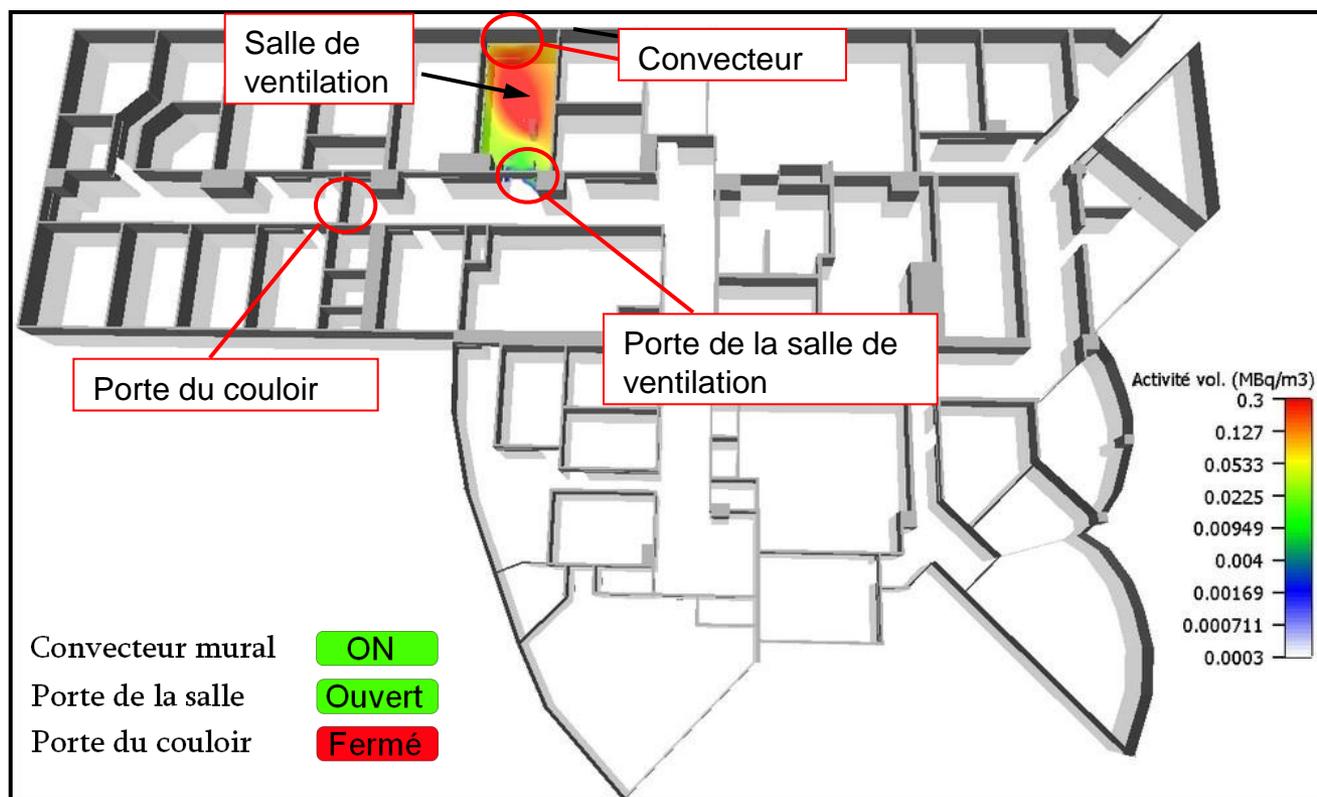
# Environnement de test – Données d'entrée du modèle.



# Bilan de l'installation existante

Le modèle utilisé contient 4 millions de mailles (~12h de calcul pour simuler 8h de fonctionnement).

La simulation représente l'**activité volumique** qui serait disséminée lors d'**une** opération de ventilation pulmonaire.



*Répartition de la radioactivité après 1 minute*

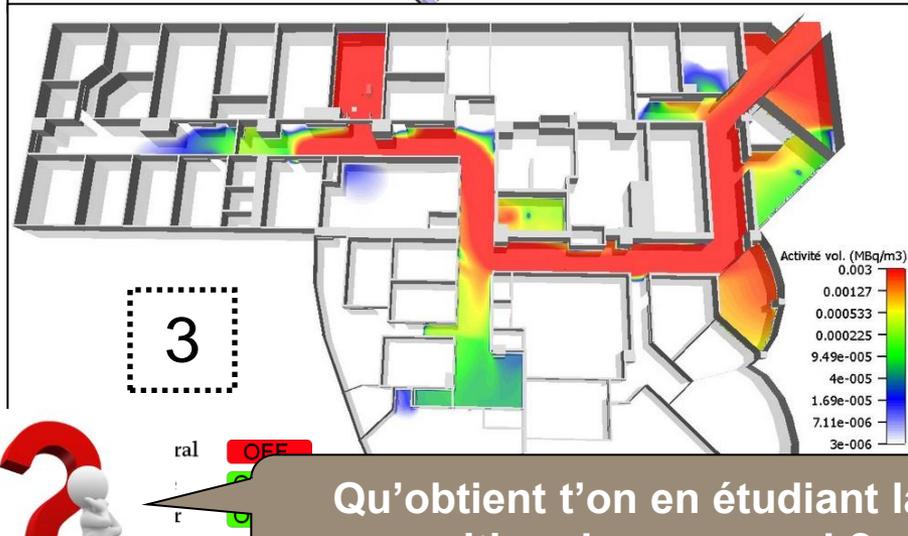
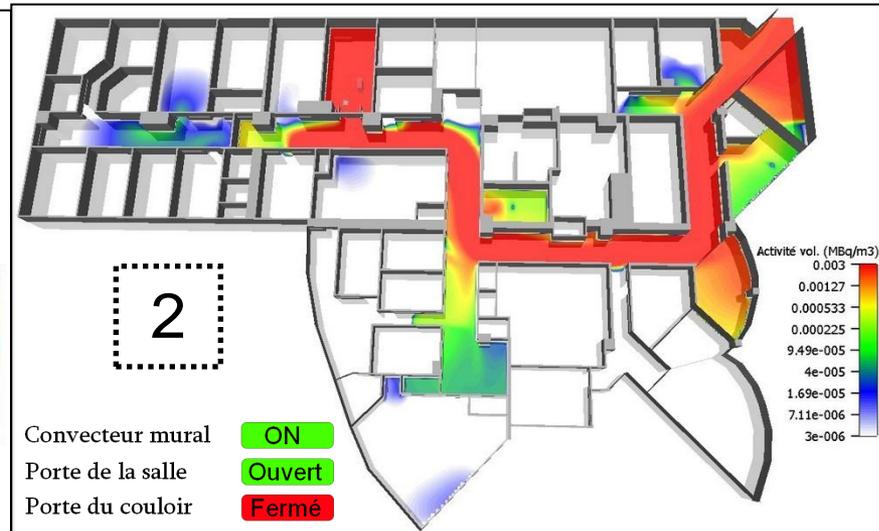
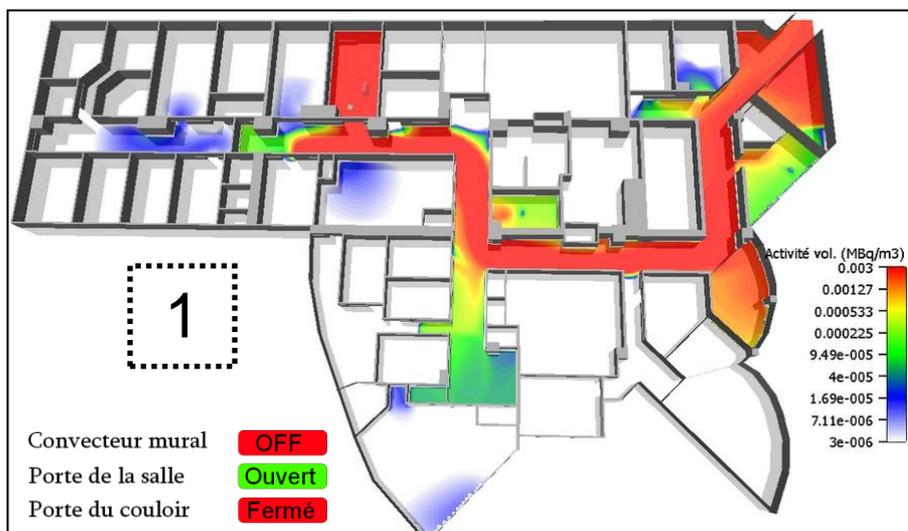
→ **Transfert de contamination sur une longue distance**

→ **Confinement des zones en surpression**



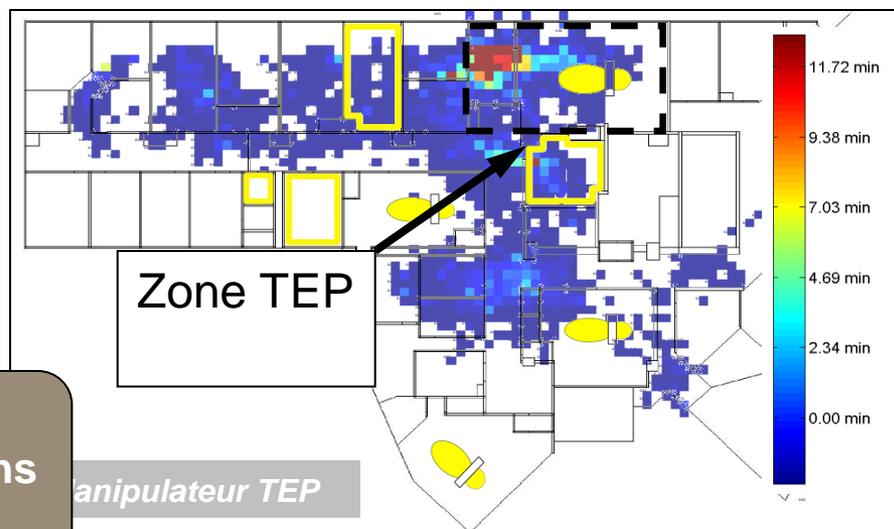
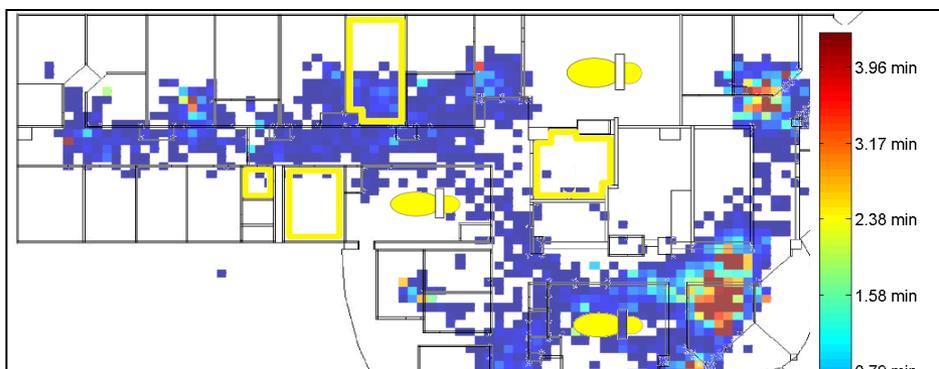
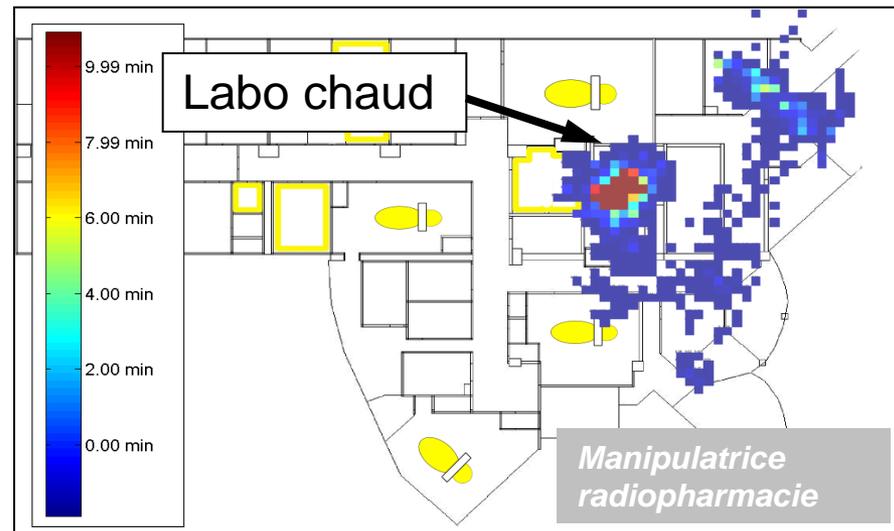
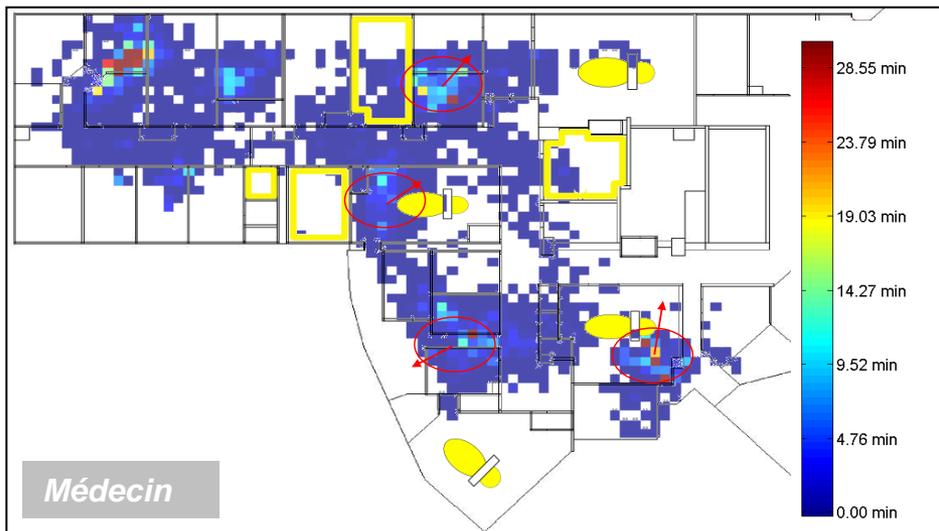
# Impact des “réglages utilisateurs”

Dissémination après 1 heure (échelle focalisée sur les basses valeurs).



Qu'obtient t'on en étudiant la position du personnel ?

# Traitement des informations de position

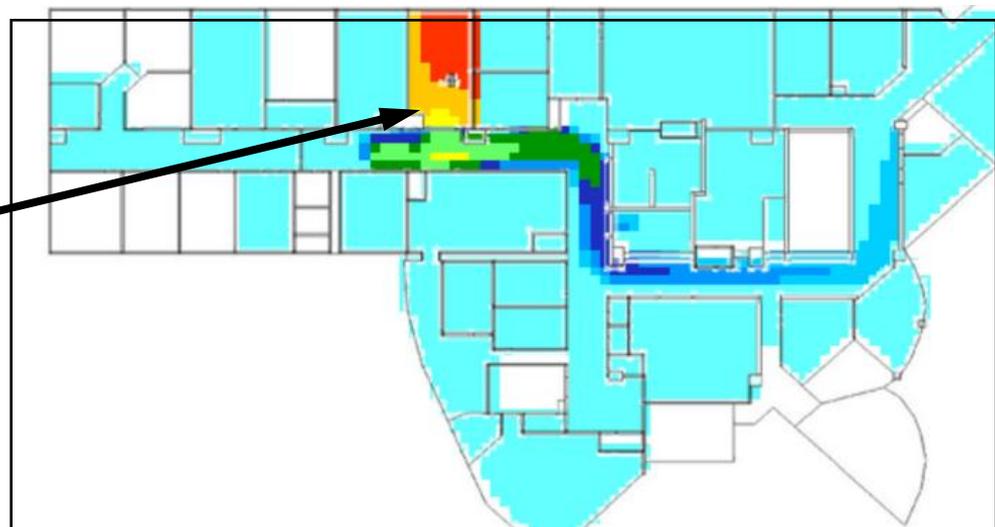
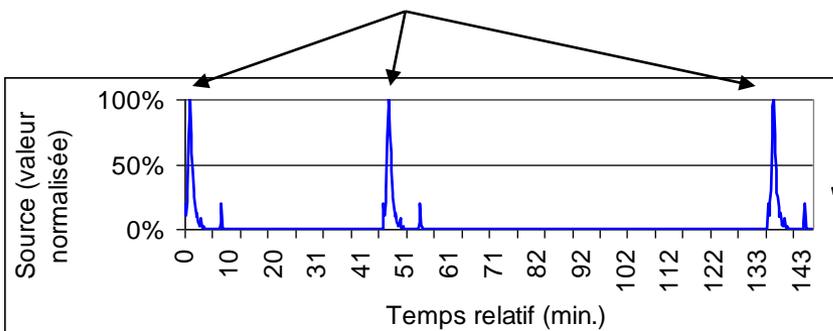


Comment combiner ces informations avec les simulations de dissémination ?

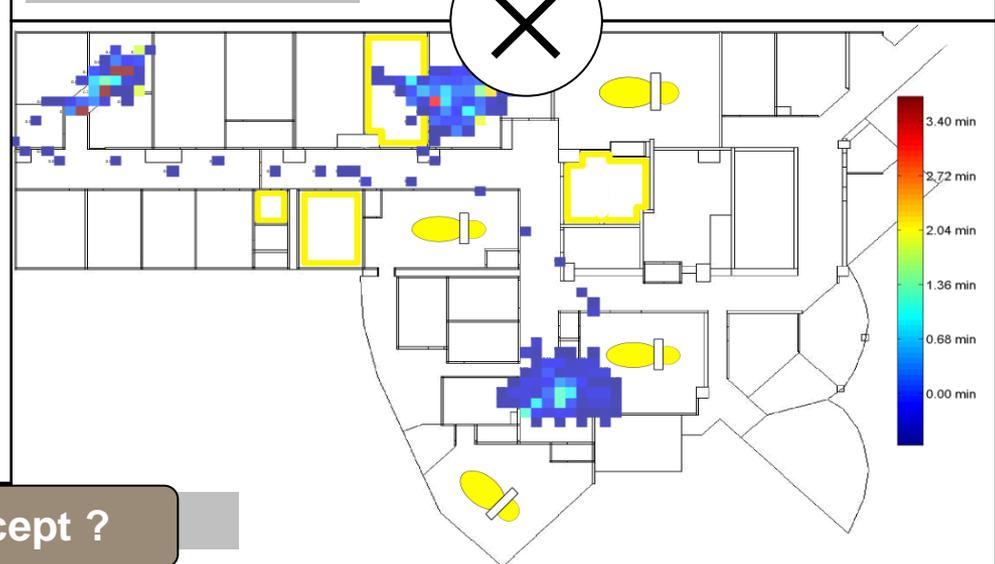


# Exploitation du modèle numérique

## 3 émissions sont simulées



Activité volumique



→ Combinaison des données.

Dans chaque cellule p du maillage on multiplie :

- $C_p$  l'activité volumique,
- $T_p$  le temps passé,
- $Q$  le débit respiratoire ( $16 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

$$\text{Expo} = Q \int_0^T C(t) dt \quad \text{avec } C(t) = C_p \times t_p$$



exemple, 2 MBq sont  
les d'être inhalés par le  
durant

Comment valider ce concept ?

# Mesure de référence de l'exposition individuelle :

5 opérateurs ont été équipés d'une pompe et d'une cassette.  
Ils portent simultanément un dosimètre actif.



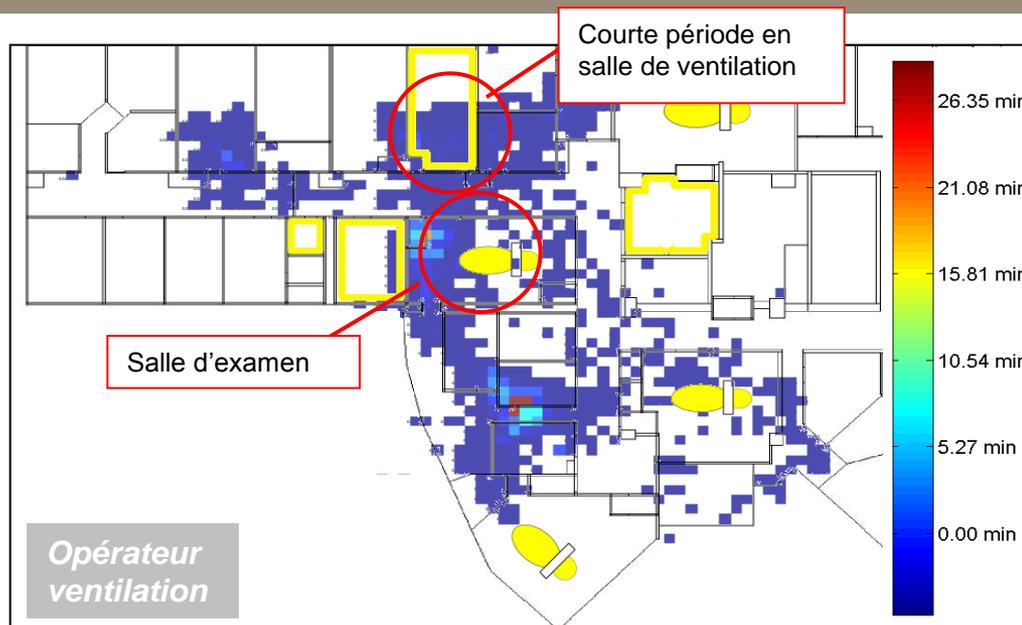
Désignation du porteur	Chronologie de la journée	Dose estimée par prélèvement aérosol ( $\mu\text{Sv}$ )	Dose HP10 dosimètre actif ( $\mu\text{Sv}$ )
Porteur 1	8h35 8h50 11h55 Ventil. 1 Examen 1 Autre activité	0.15	0
Porteur 2	9h23 9h37 Ventil. 2	0.02	0
Porteur 3	9h37 11h55 Examen 2 Autre	0.03	0
Porteur 4	10h40 12h02 Ventil. 3 Examen 3	14.1	0
Porteur 5	13h20 16h10 Réunion	0.01	2

→ Dosimètres insensibles aux aérosols radioactifs

→ Exposition très variable (émissions variables, position de la personne par rapport au générateur)

# Confrontation des calculs aux mesures de référence

- Expérience menée avec 3 émissions sur une période de 4h.
- 5 personnes différentes impliquées.



→ Tendances cohérentes.  
 → Améliorations possibles.

Désignation du porteur	Chronologie de la journée		Activité inhalée estimée			
			par prélèvement aérosol (Bq)	par combinaison des simulations et positions cumulées (Bq)		
Porteur 1	8h35	8h50	11h55		9 982	14 367
	Ventil. 1	Examen 1	Autre activité			
Porteur 2		9h23	9h37		1 184	11 145
		Ventil. 2				
Porteur 3		9h37	11h55		2 058	
		Examen 2	Autre			
Porteur 4		10h40	12h02		937 874	pas de suivi de position
		Ventil. 3	Examen 3			
Porteur 5			13h20	16h10	897	252
			Réunion			

# Conclusions - Perspectives

## Place de la modélisation :

Il a été montré que la simulation permet :

- **d'ajuster** les réglages de la ventilation,
- **d'optimiser** la réduction à la source (extraction locale).

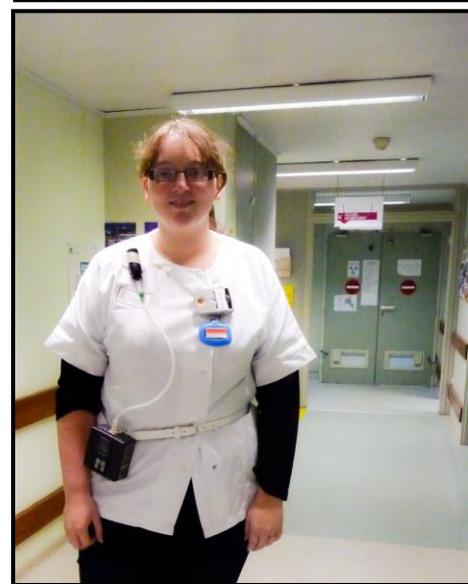
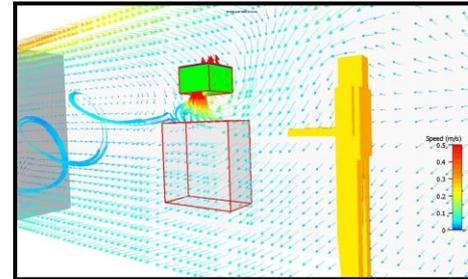
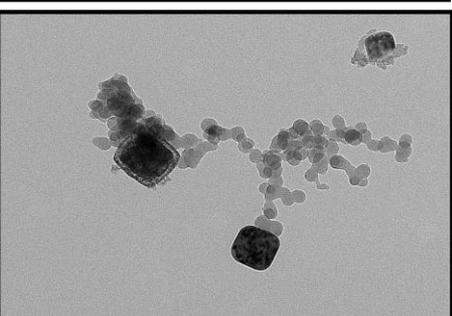
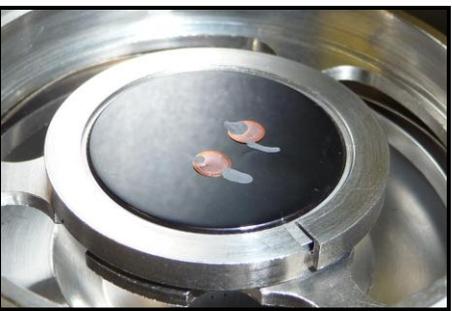
L'ajout de l'information sur la **position du personnel**, nous a permis **d'estimer l'exposition** d'après les données sur la radioactivité volumique obtenues par simulation.



## Perspectives :

- Amélioration de la précision de **positionnement**.
- Participer à des projets de **conception/rénovation** de services de médecine nucléaire.
- Appliquer la méthode à **d'autres domaines d'étude des contaminants**.

Merci pour votre attention !



27, boulevard des Alpes

38240 MEYLAN

Tél. +33 4 76 92 81 00

Fax +33 4 76 92 81 09

[contact@faure-qei.com](mailto:contact@faure-qei.com)

<http://www.faure-qei.com>



# ANNEXES

## Réglementation française pour les installations de médecine nucléaire

- **Dépression** indépendante des locaux,
- **Taux de renouvellement** de
  - **10 vol./h** pour la zone de préparation (labo chaud) et
  - **5 vol./h** pour les zones d'utilisation.
- Contrôle de **contamination atmosphérique** (continu ou au moins mensuel) lorsque le risque est identifié.
- Systèmes d'**extraction** (examens ventilatoires).
- Suivi du personnel.
- Limites d'exposition annuelle (radioactivité artificielle) :
  - **20 mSv/an** (Code du travail).
  - **1 mSv/an** (Code de la santé publique).



## Localisation du risque radioactif

Classement des zones selon le risque (Zonage).

-  Zones non réglementées : dose efficace < 0,08 mSv/mois
-  Zones **surveillées** : dose efficace entre 0,08 mSv/mois et 7,5 µSv/h
-  Zones **contrôlées** : dose efficace entre 7,5 µSv/h et 25 µSv/h.
-  Zones **contrôlées jaunes** : dose efficace entre 25 µSv/h et 2 mSv/h.

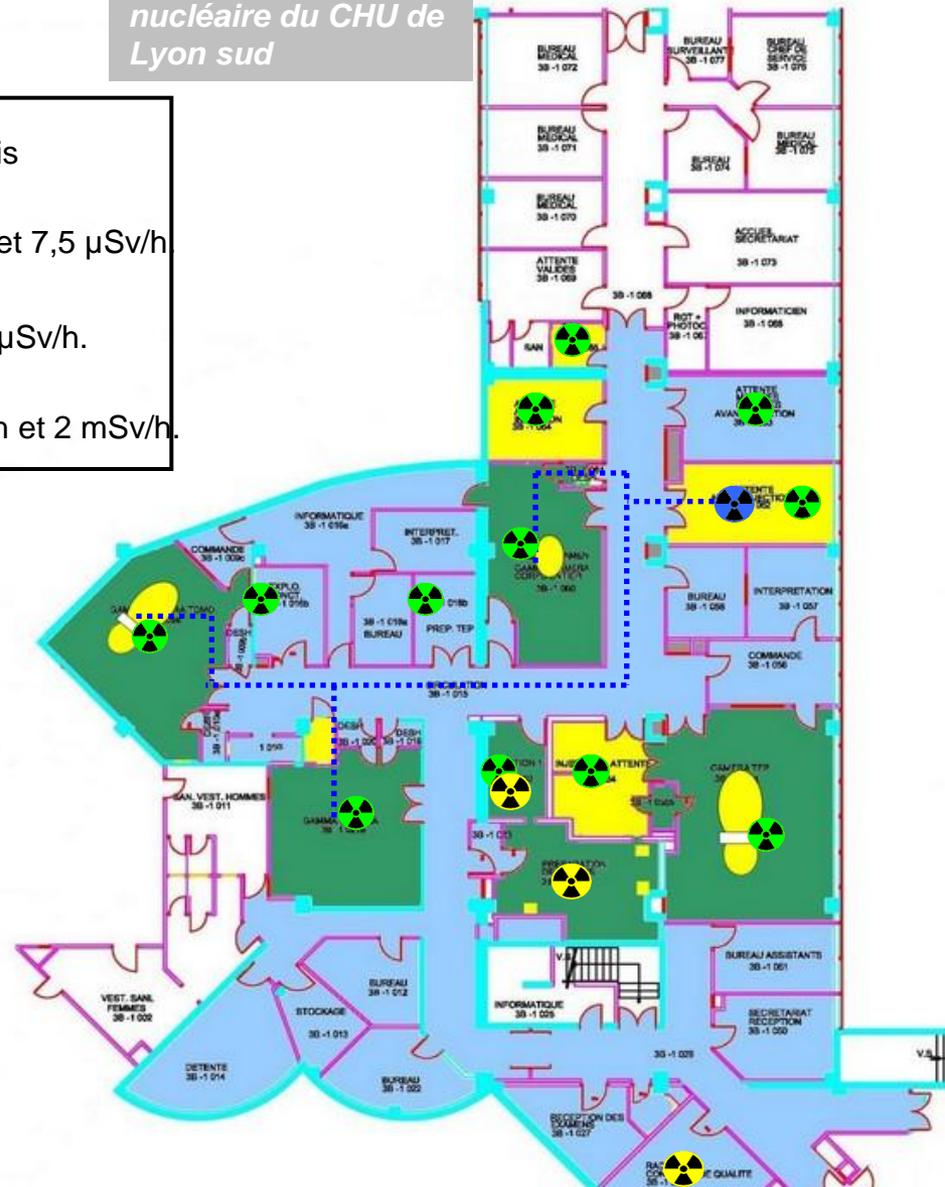
*Service de médecine nucléaire du CHU de Lyon sud*

## Sources radioactives.

-  Produits radioactifs
-  Patients radioactifs
-  Générateur de Technegas®
-  Trajectoire des patients après inhalation du Technegas®

→ Exposition possible aux différentes sources (produits, patients, et aérosols par inhalation)

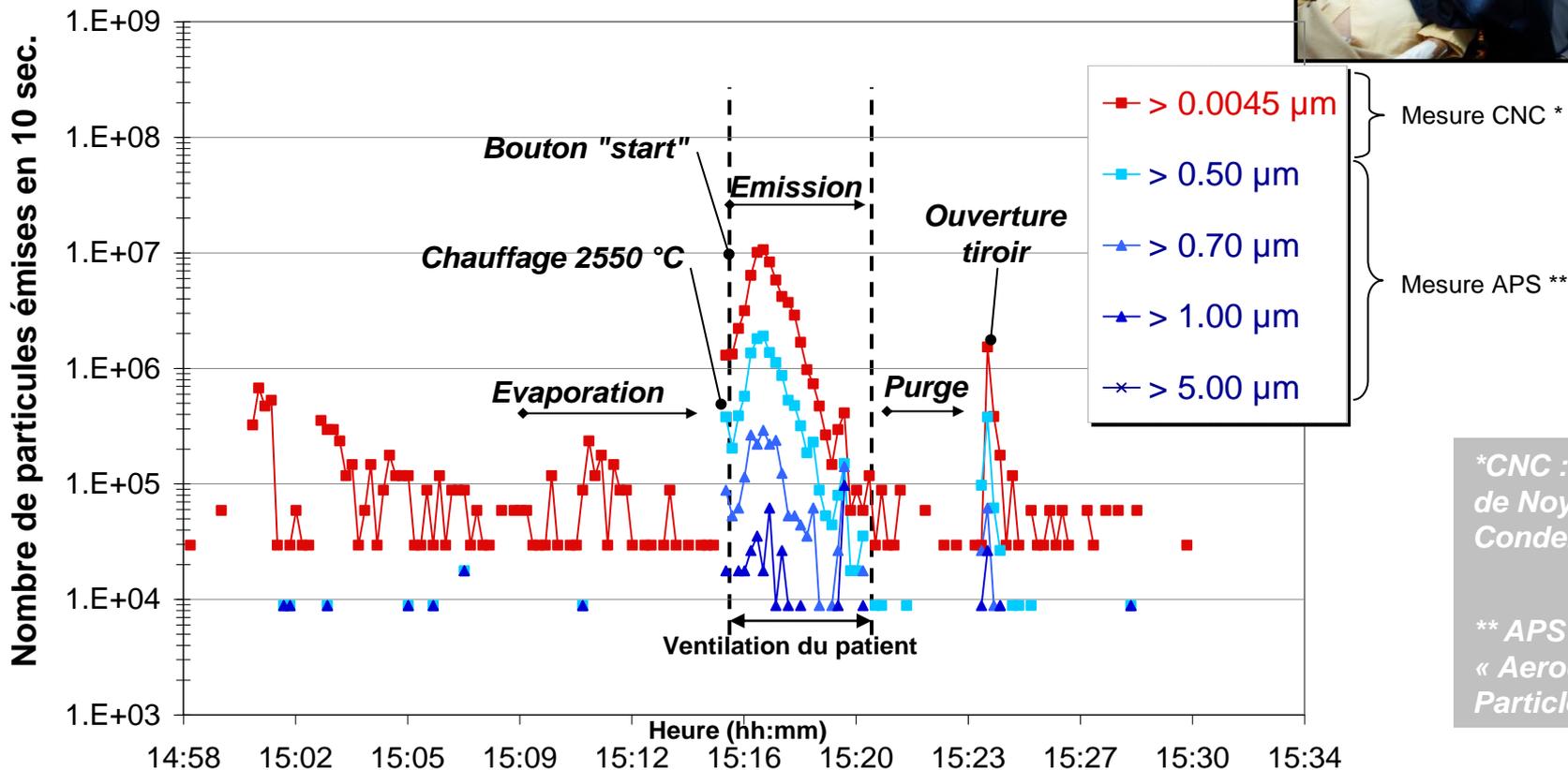
→ Aérosol de Technegas® : Emission principale fixe + émissions secondaires dispersées



## Emissions du générateur vers l'environnement :

Particules analysées en sortie de l'enceinte d'essai

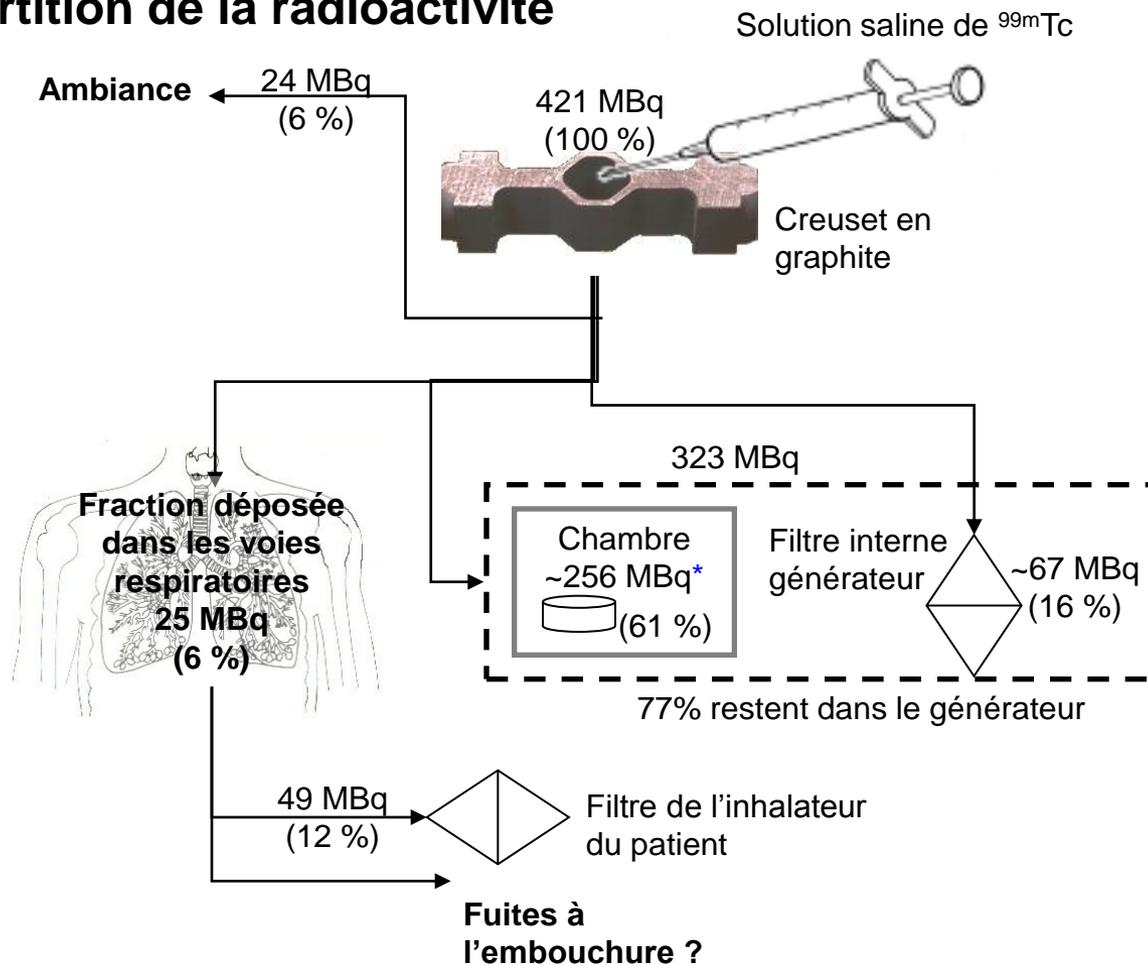
Essai réalisé au Centre Jean Perrin durant la ventilation d'un patient.



\*CNC : Compteur de Noyaux de Condensation.

\*\* APS : « Aerodynamic Particle Sizer ».

## Bilan de répartition de la radioactivité

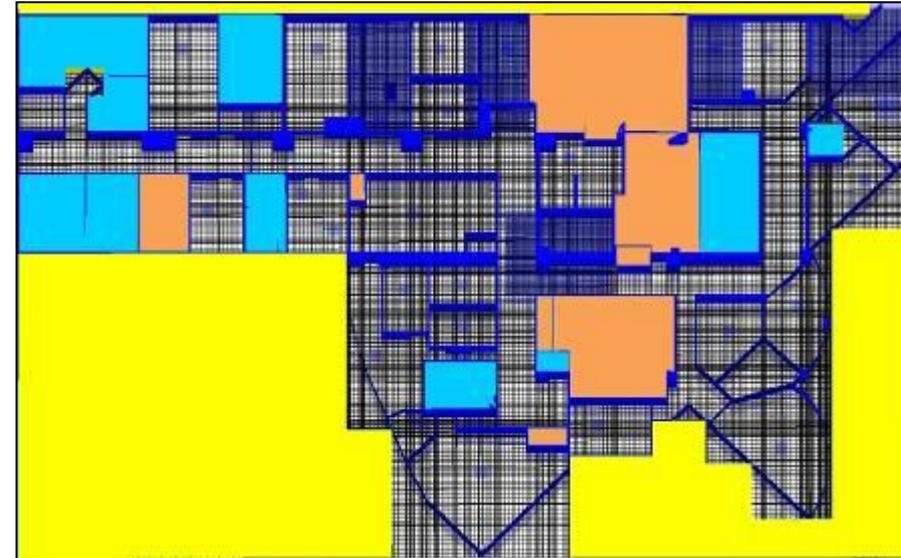


→ Cumul d'activité à considérer pour des ventilations successives.

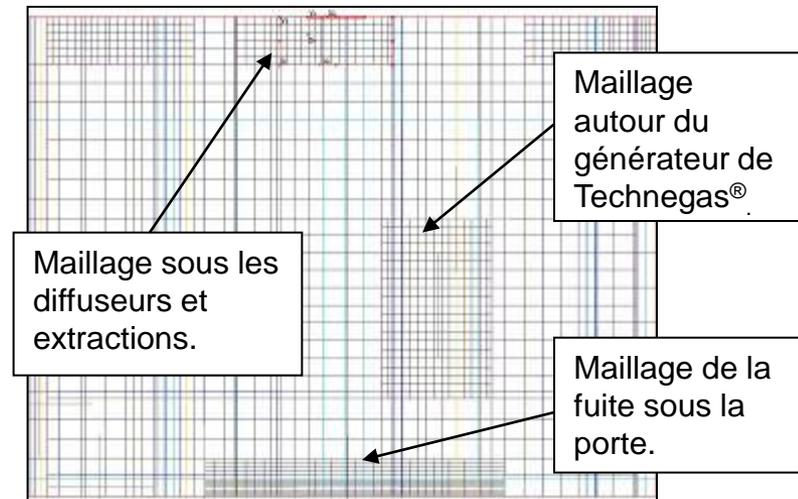
### Construction et optimisation du modèle

1. **Définir le maillage idéal** en fonction des contraintes de calcul en recherchant :
  - La réduction des erreurs
  - La réduction du "coût" de calcul
  - Long travail d'optimisation
2. **Exclusion des zones sans influence,**
3. **Remplacement des zones à pression positives fermées par les fuites équivalentes,**
4. **Remplacement des petits obstacles par des résistances équivalentes,**

→ Les calculs transitoires nécessitent alors moins de 24h.



*Zones exclues ou remplacées*



*Maillage de la salle de ventilation (vue de côté)*

## Validation du modèle

### Comparaison avec les mesures de terrain.

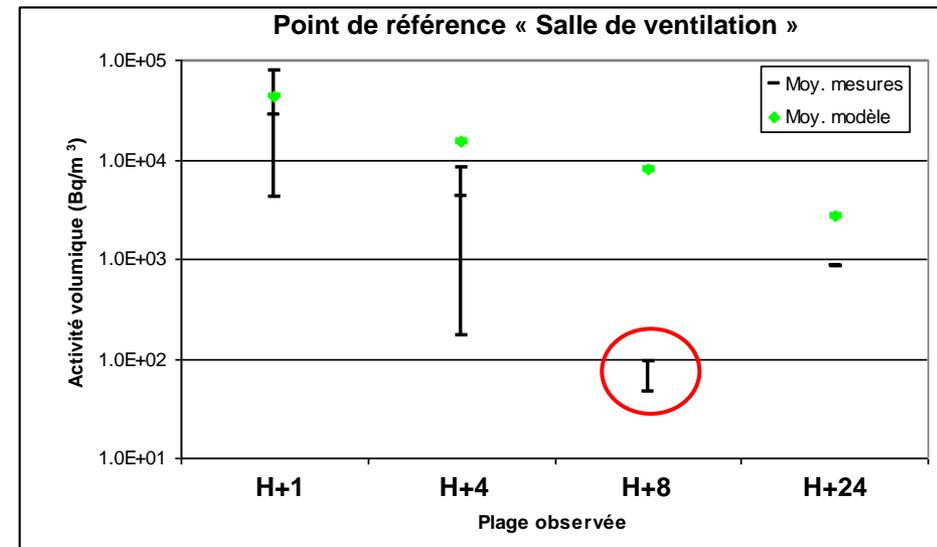
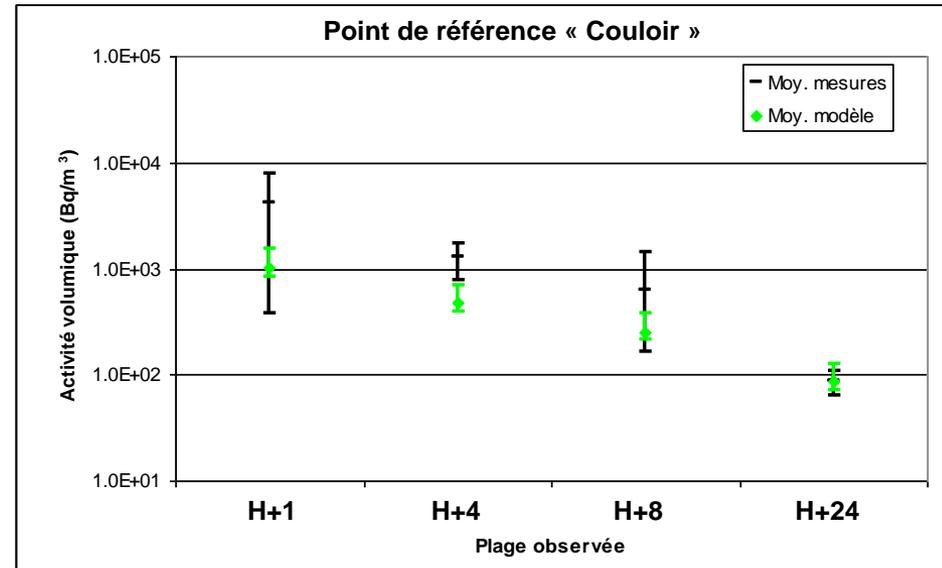
Pour 2 emplacements différents, on vérifie la **décroissance** dans le temps de la contamination et la **valeur** indiquée.

On note :

- **Similarité** de la décroissance.
- Ecart proche d'un **facteur 2** entre modèle et moyenne des mesures.

L'écart peut être dû aux :

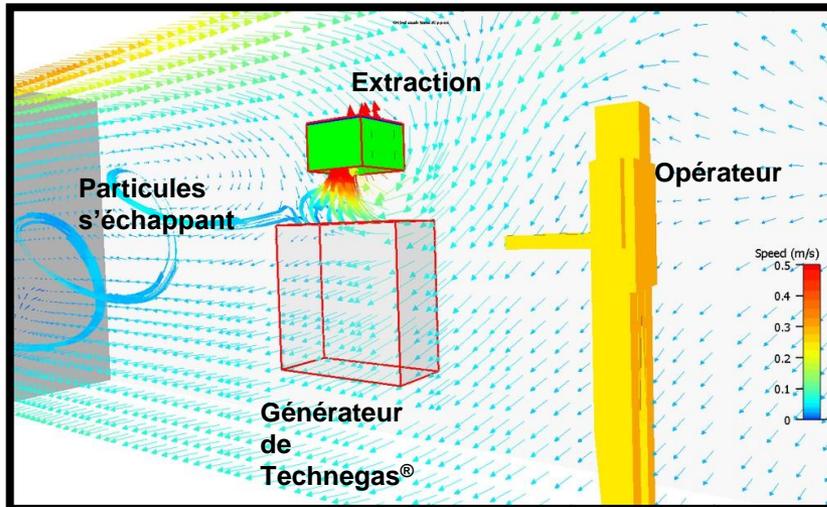
- variations de la source (patient différent).
- simplifications appliquées au modèle.





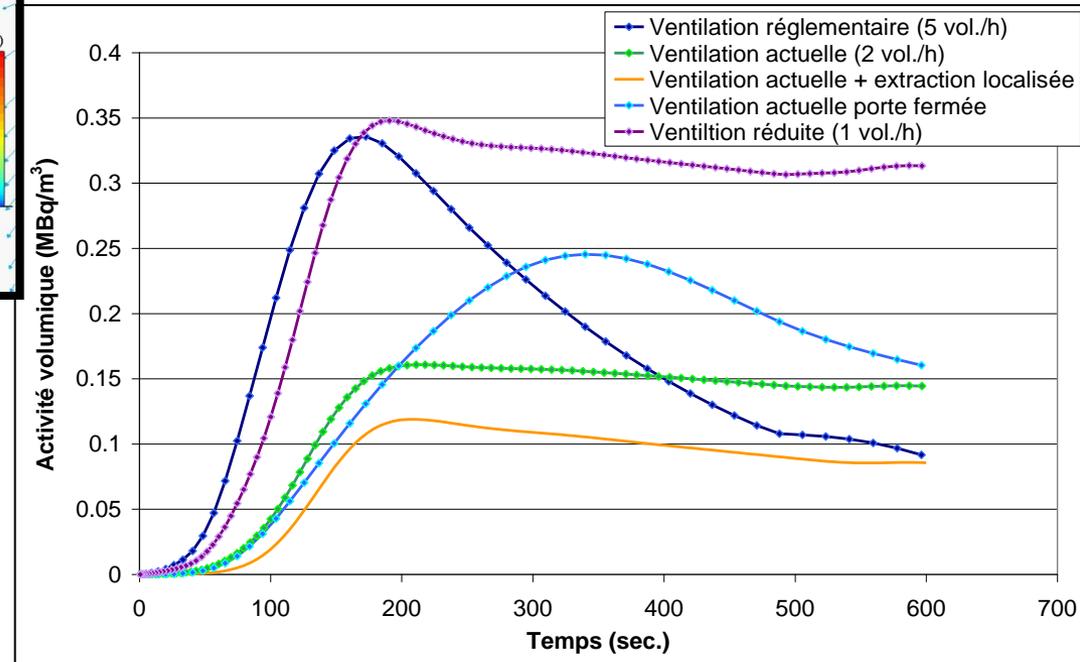
## Comparaison de l'impact des réglages aérauliques à court terme

Activité volumique au niveau de la tête de l'opérateur durant la ventilation pulmonaire



→ Influence du débit soufflé, de la porte ?

→ Gain obtenu avec un extracteur ?

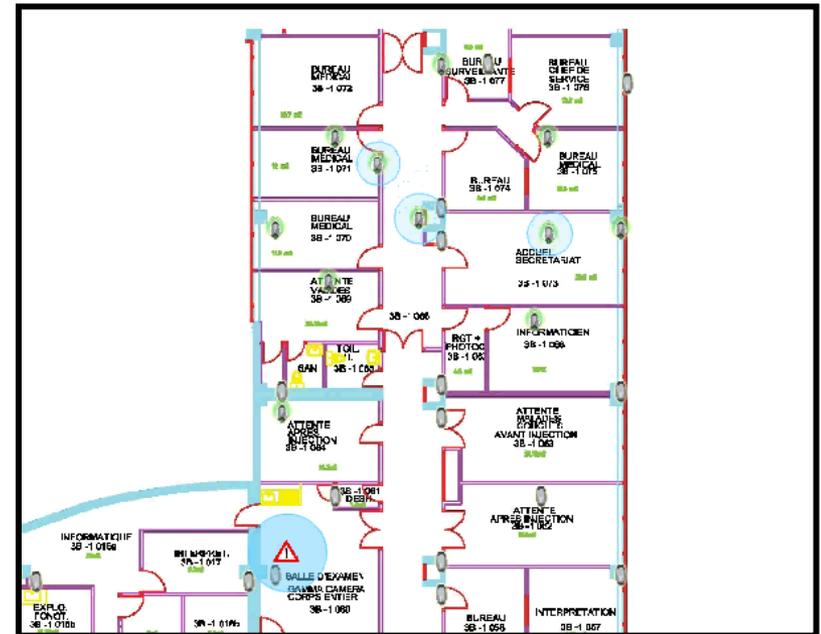


→ Effet inattendu de l'augmentation du débit soufflé



### Traitement des informations de position

- Pré-traitement :
  - **Tri** des périodes non représentatives et pertes de connexion,
  - **correction** des erreurs de position,
  - **uniformisation** de la grille de données.
- Sélection :
  - **période** observée.
  - **catégorie** de personnel
- Analyses possibles :
  - **durée de présence** en zone exposée.
  - possibilité de retracer le **parcours**.
  - combinaison avec les simulations.

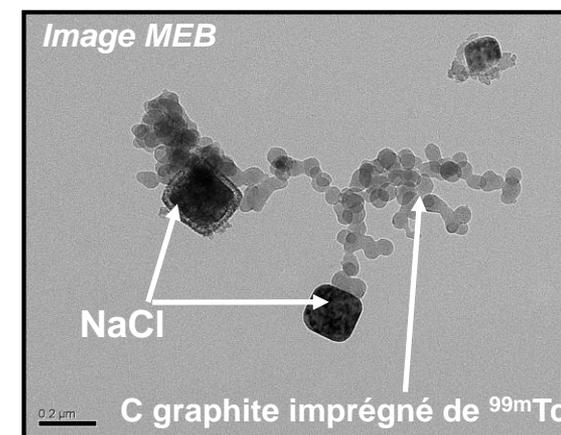
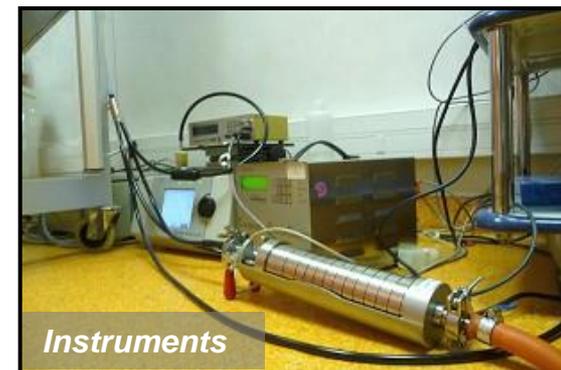


*Vidéo des mouvements des capteurs de position*

## Techniques de caractérisation du Technegas®

- Nature de l'aérosol (littérature) :
  - particules de **graphite** associées à du **NaCl**.
  - diamètre moyen de **130 nm** au point d'utilisation.
  - diamètre aérodynamique médian en activité de **400 nm**.
- 3 instruments complémentaires :
  - **CNC** (Compteur de noyaux de condensation).
  - **APS** (Aerodynamic Particle Sizer).
  - **DLPI** (Dekati Low Pressure Impactor) + Spectromètre gamma.
- Caractère hygroscopique
  - les particules de NaCl entraînent un fort **grossissement** ( $\times 2,3$ ) **en atmosphère humide** (voies respiratoires).
  - prélèvements (grille TEM) et analyse MEB pour illustrer ce dépôt de NaCl sur les particules.

→ **Correction de la distribution granulométrique lors des calculs de dépôt pulmonaire.**

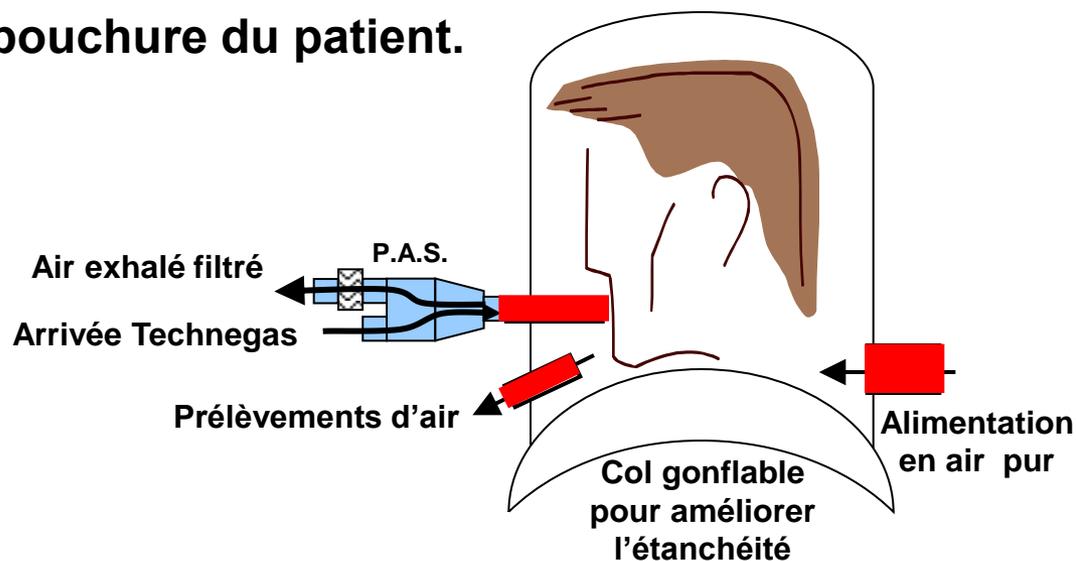




## Evaluation des émissions à l'embouchure du patient. Développement d'une cagoule

- Autorisation du **comité d'éthique** médicale et **patient volontaire**.
- Collecte des particules émises en minimisant le bruit de fond.
  - Apport d'air propre et légère surpression
  - Système de liaison buccale extérieur.
  - Embout de prélèvement.
- Analyse des particules par spectromètre gamma après prélèvement sur impacteur basse pression.

→ Analyse quantitative des particules émises au niveau de la tête.

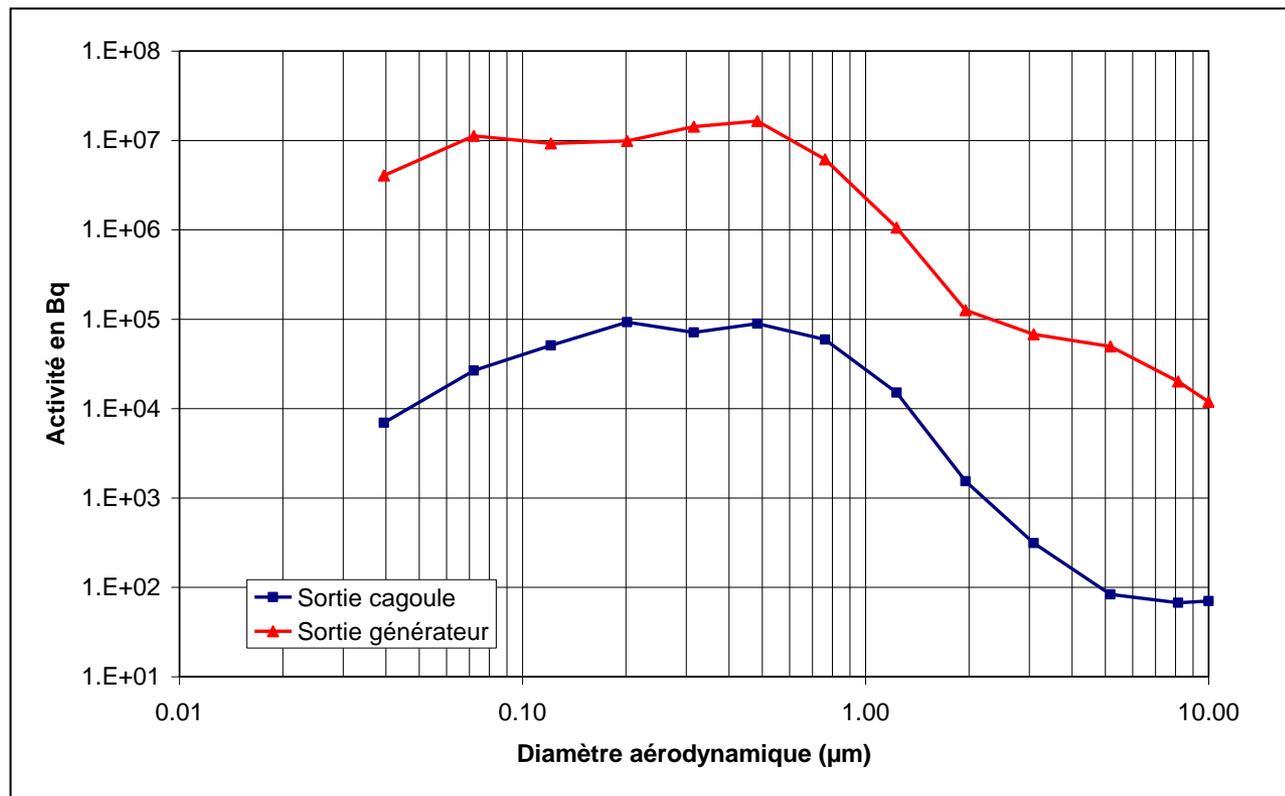


## Résultats obtenus

### Emissions de particules radioactives par un patient :



*Patiente en cours de ventilation.*



→ Pour cet essai, la radioactivité de la fuite (0,4 MBq) est très inférieure à celle issue du générateur (24 MBq). Cependant une **grande disparité** est pressentie.

→ Nous ne pouvons étudier suffisamment de patients pour **être représentatifs**.