

# l'isoflurane en animalerie, sommes-nous bien protégés?

**Hubert Monnier, Stéphanie Marsteau & Mathieu Marchal**

Département Ingénierie des Procédés (IP)  
Laboratoire Procep

Webinaire ADHYS,  
Lundi 24 novembre 2025, 13h00 - 14h00

# Sommaire

---

## **01**

INRS, en bref

## **02**

Produits, Procédés & Applications

## **03**

Contexte et Problématique

## **04**

Notre Approche

## **05**

Conclusion & Perspectives



01

# L'INRS en bref

Carte d'identité

# L'INRS en bref

## HISTORIQUE



**1947 : création de l'Institut national de sécurité (INS)** sous l'égide de la Sécurité sociale

### **1968 : l'INS devient l'INRS**

Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

## STATUTS



**Association Loi 1901**  
(organisme privé sans but lucratif)

**Action inscrite** dans les orientations de la branche accidents du travail et maladies professionnelles de la Caisse nationale de l'assurance maladie



RISQUES PROFESSIONNELS

**Gouvernance paritaire**  
9 représentants employeurs et  
9 représentants salariés

# L'INRS en bref

---

## MISSION

**Contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles** selon **quatre modalités complémentaires** :

- **assistance**
- **études et recherche**
- **formation**
- **information.**



## En pratique

**Identifier** les risques professionnels et **mettre en évidence** les dangers

**Analyser leurs conséquences** pour la santé et la sécurité des salariés

**Développer et promouvoir** les moyens pour maîtriser ces risques au sein des entreprises.

# Répartition de l'activité 2024

## Modalités d'actions



**47 %**

Études et recherche



**19 %**

Assistance



**17 %**

Information



**13 %**

Formation



**4 %**

Activités transverses

# Études et recherche



## OBJECTIFS

Conduite de travaux d'études et recherche à **finalité applicative**

**Acquisition de connaissances** scientifiques et techniques **validées et publiées** pour faire progresser la **prévention des risques professionnels**

(expositions chimiques, troubles musculosquelettiques, risques psychosociaux...)

**83 programmes conduits en 2024**

**21 laboratoires spécialisés** et environ

**250 chercheurs** (chimistes, ingénieurs, ergonomes...) et techniciens spécialistes :

- **risques chimiques**, biologiques
- nuisances physiques
- risques mécaniques
- épidémiologie
- accidentologie
- psychologie et physiologie du travail...

**166 articles publiés**

dans des revues scientifiques

**166 communications**

présentées lors de colloques et conférences

**19 thèses**

en cours en 2024

# 02

## Produits, Procédés & Applications

*une histoire d'inhalation*





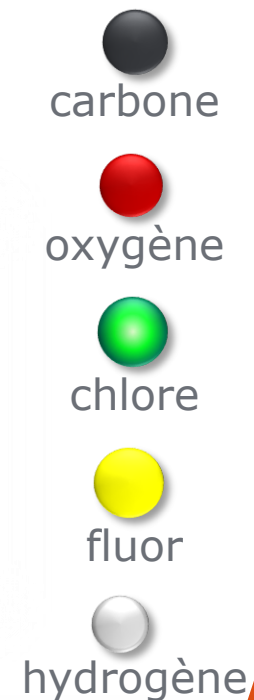
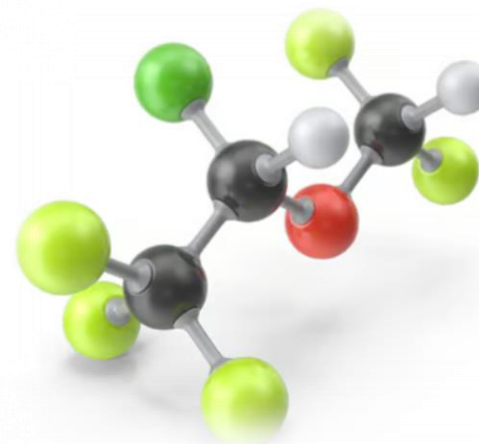
# Isoflurane, gaz anesthésiant

Composé organique volatil (COV),  $T_{éb.} \sim 50^{\circ}\text{C}$  à  $P_{atm}$

D'autres anesthésiants : le sévoflurane, le desflurane et le MEOPA\*

## Utilisation

- depuis les années 70
- médecine et vétérinaire
- très peu métabolisé (<1%)
- endormissement et réveil rapide
- voie inhalatoire
- génération d'un mélange gazeux, air + isoflurane (2-3%)



\*MEOPA : mélange équimolaire d'oxygène et de protoxyde d'azote

# Le procédé **anesthésiant**

*Bullage d'air ambiant dans de l'isoflurane liquide*

*Passage par une cartouche de charbon actif, en sortie*



zoom  
masque

## Voies de sortie

- chambre d'induction
- masque double flux
- intubation double flux



# Etablissements vétérinaires

*Des vétérinaires mais aussi des assistants vétérinaires ainsi que du personnel administratif*

## En France

- 25 000 vétérinaires
- 75% exercent en clinique
- 25% animaux de la ferme
- + 600 centres de recherche



# 03

## Contexte et **problématique**

*Evaluation et prévention*





# Alerte et **prévention**

*Vapeurs anesthésiantes résiduelles dans les cabinets vétérinaires, comment protéger les soignants ?*

## Etudes

USA : 73% des vétérinaires utilisent l'isoflurane (Kramer et al., 2022)

USA : 462 femmes vétérinaires en Californie :  
**Nausées, problème de concentration, effet sur la reproduction** (Boivin, 1997)

Malformations chez le fœtus (Palanisamy, A., 2012)

Cas d'avortement spontanés (Cohen et al., 1971)

## CIRC

Perte de conscience

Cancérogène groupe 3

Preuves insuffisantes chez l'homme et limitées chez les animaux de laboratoire (IARC, 1987)

International Agency  
for Research on Cancer



## VLEP<sup>1</sup> 8-heures (non réglementaire)

Finlande : 10 ppm

USA : 2 ppm (NIOSH<sup>2</sup>)

**France : 2 ppm**



<sup>1</sup>VLEP : Valeurs limites d'exposition professionnelle

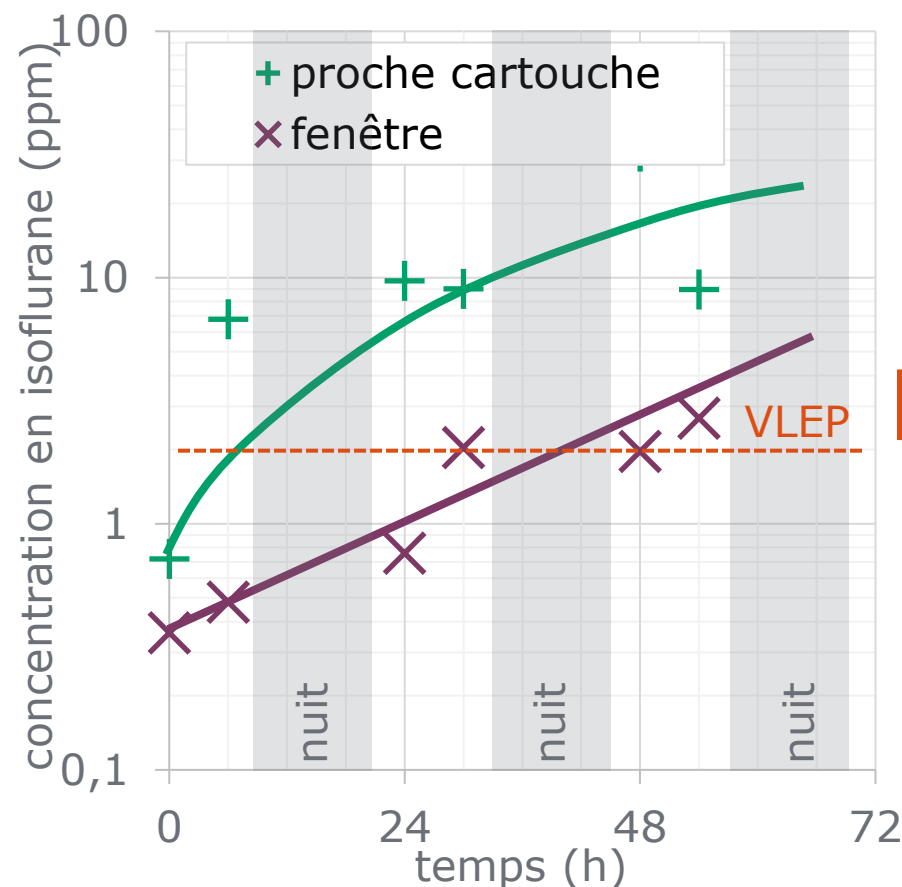
<sup>2</sup>National Institute for Occupational Safety and Health | NIOSH

# Problématique santé au travail

Mesures atmosphériques dans une salle de soins à l'INRS avec un air régénéré

## Prélèvements et analyses

- Air régénéré dans la salle
- Augmentation de la concentration en isoflurane
- Résultats alarmants



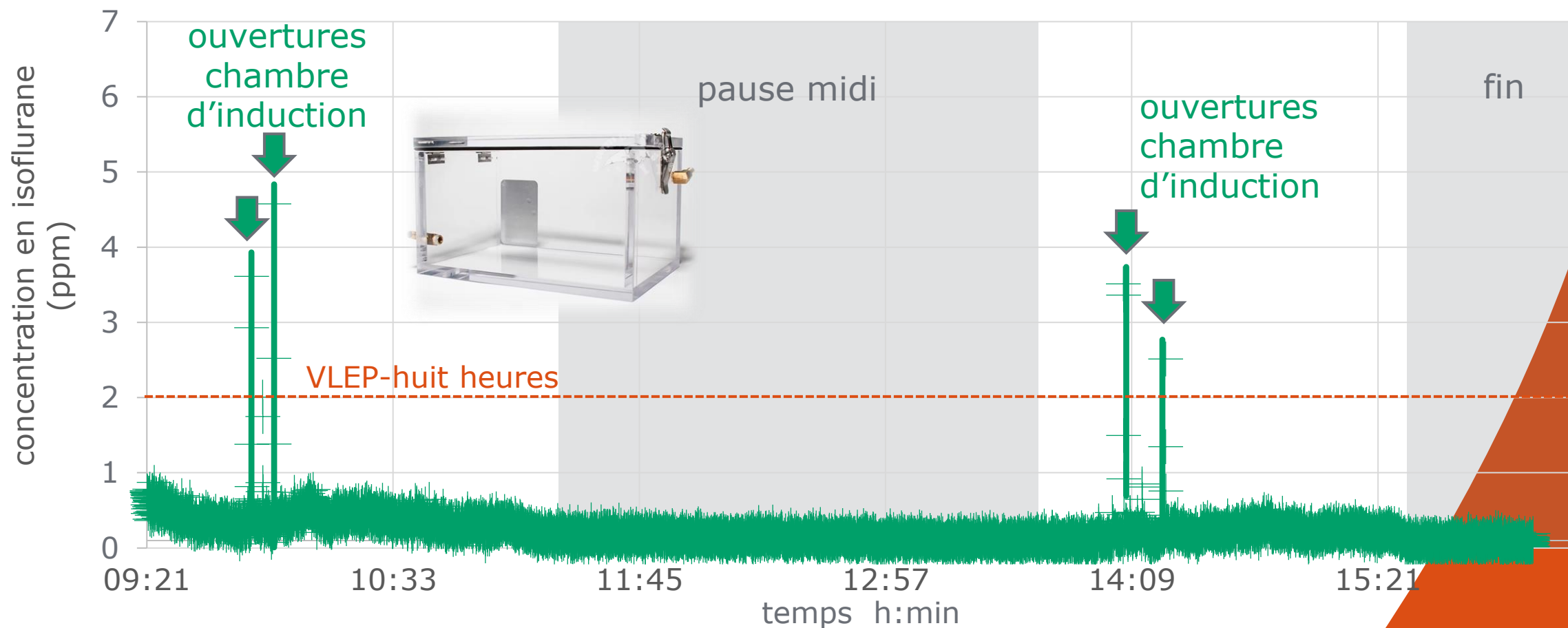
## Investigations

- Gaz traité & recyclé ... dans la pièce
- Efficacité de la cartouche
- Claquage de la cartouche d'adsorption ?
- ...

Exemple de concentration au sein d'une salle de chirurgie ( INRS, E. Langlois Météor/MP & F. Bonthoux Avatar/IP) - taux de renouvellement d'air de 33 vol/h

# Rejet vers l'extérieur

Sur une journée de travail, opérations en laboratoire de recherche, deux vétérinaires, quatre rongeurs  
Mesure de la concentration en isoflurane proche de la chambre d'induction



# 04

## Notre approche

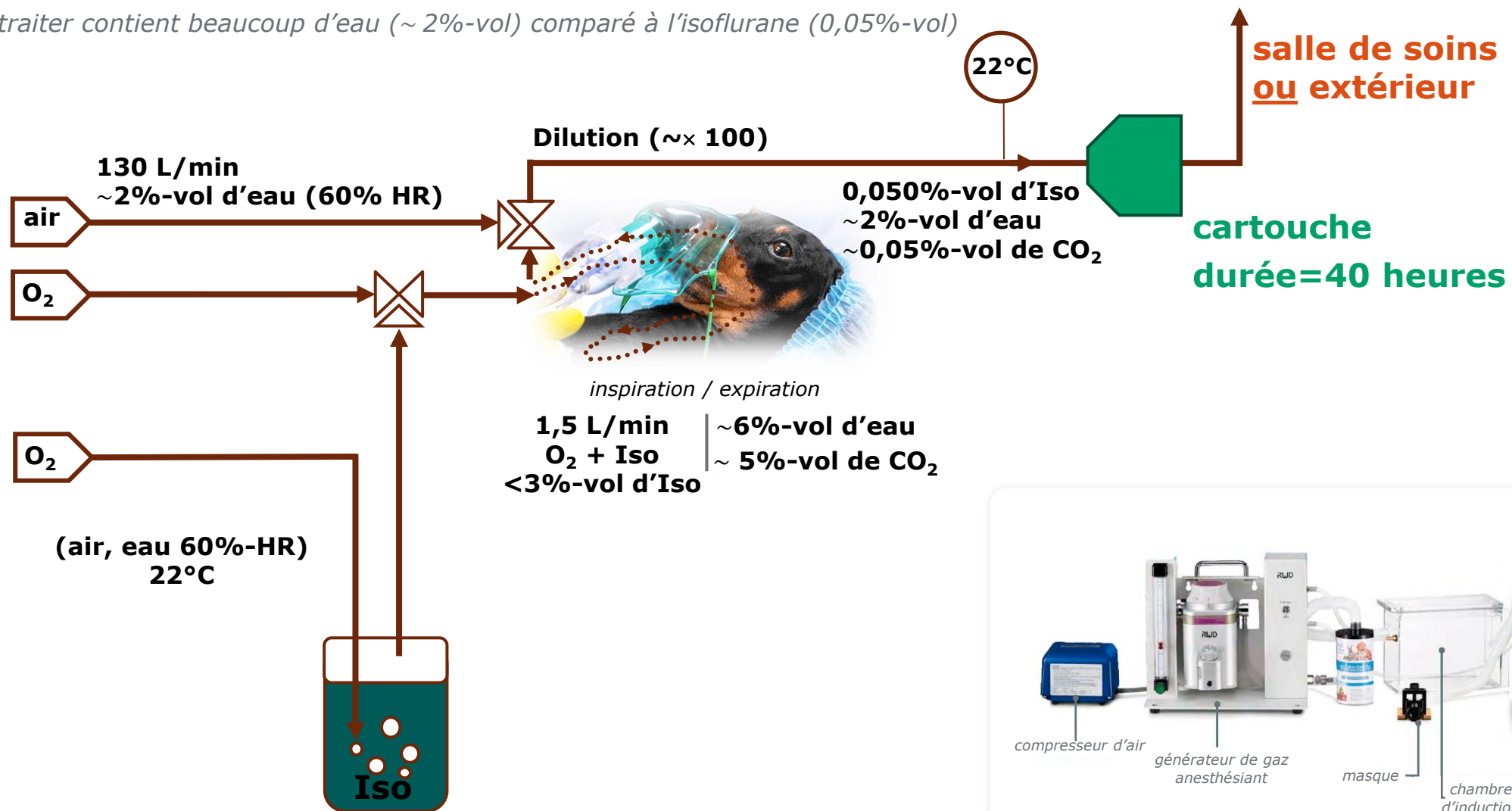
*Adsorbant adapté ? Cartouche défectueuse ? Procédé à améliorer ?*





# Schéma du **procédé**

L'air à traiter contient beaucoup d'eau (~ 2%-vol) comparé à l'isoflurane (0,05%-vol)



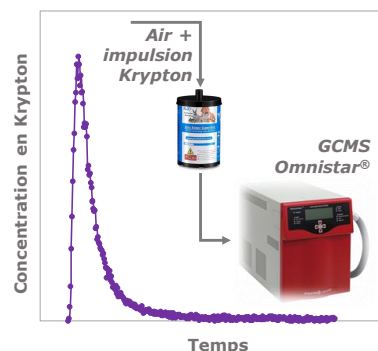
# Trois études

Etudier les cinq cartouches industrielles et la nature de leur charbon actif

01

## Ecoulement

Mesures de DTS\*  
Déterminer les zones mortes ou les court-circuits



02

## Matériau

Comparer leur nature :

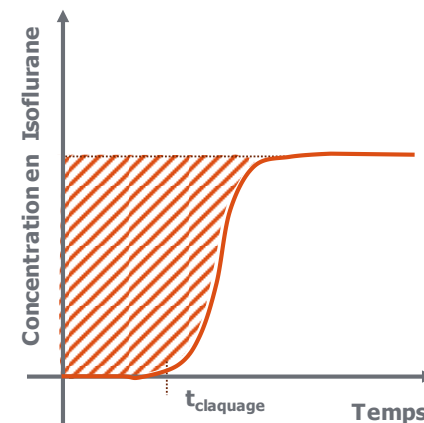
- Quantité adsorbée / g
- 5 charbons
- 1 zéolithe au sodium



03

## Interactions

- Isoflurane/eau/CO<sub>2</sub>
- Courbes de percée
- Roll-up ?



\* DTS : distribution de temps de séjour

# Etude de l'écoulement

## Méthodologie

### Objectif

- savoir si la cartouche est bien faite.

### Méthode

- Traceur
- Mesure de sa concentration en sortie en fonction du temps,  $t(s)$

### Résultats attendus

- Évaluation de l'écart entre le théorie et la réalité
- Détermination de zones mortes ? Courts-circuits ?

Air + impulsion  
de Krypton



Cartouche de  
charbon

GCMS<sup>1</sup>  
Omnistar<sup>®</sup>

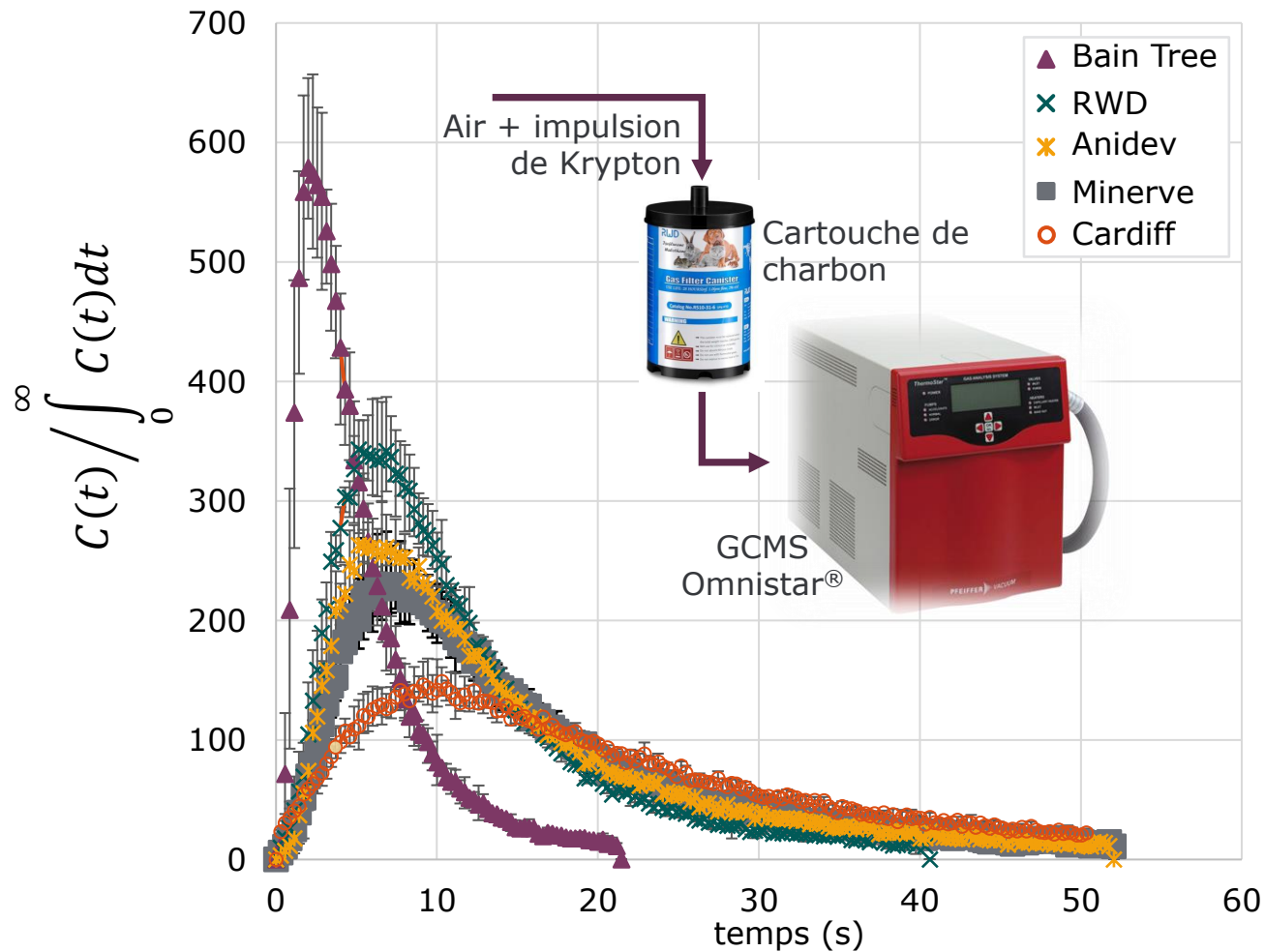


<sup>1</sup>DTS : distribution de temps de séjour

<sup>2</sup>GCMS : Chromatographie en phase Gazeuse - Spectrométrie de Masse

# Etude de l'écoulement

Etude de cinq cartouches industrielles

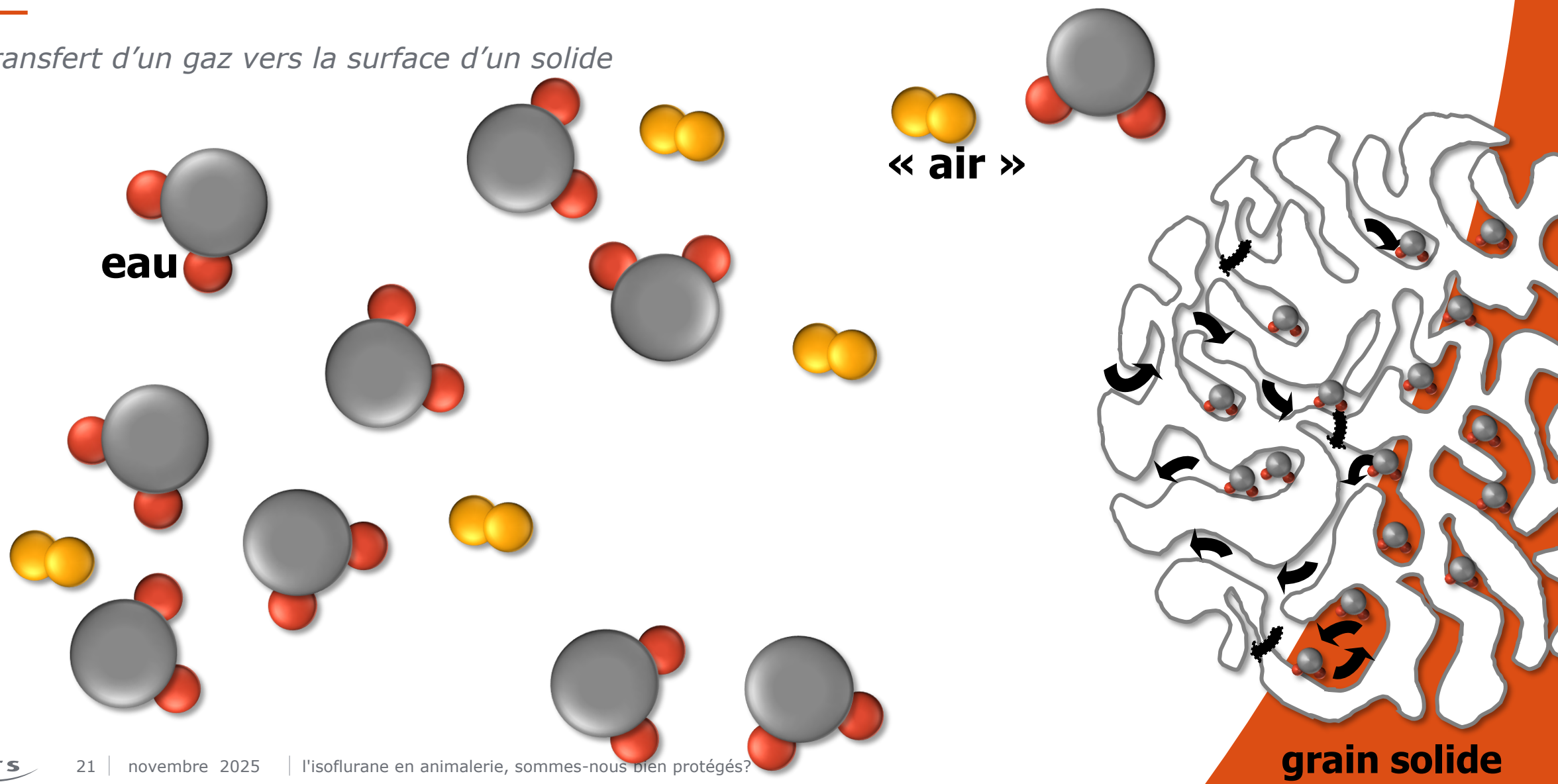


## Conclusion

- Présence d'une trainée
- Mauvaise distribution
- Présence de **zones mortes**
- Écart d'efficacité entre les cartouches

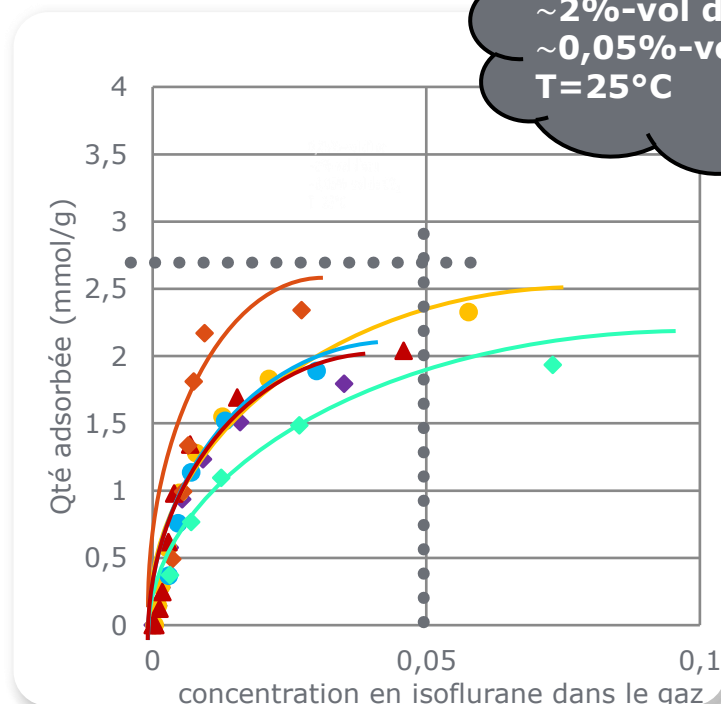
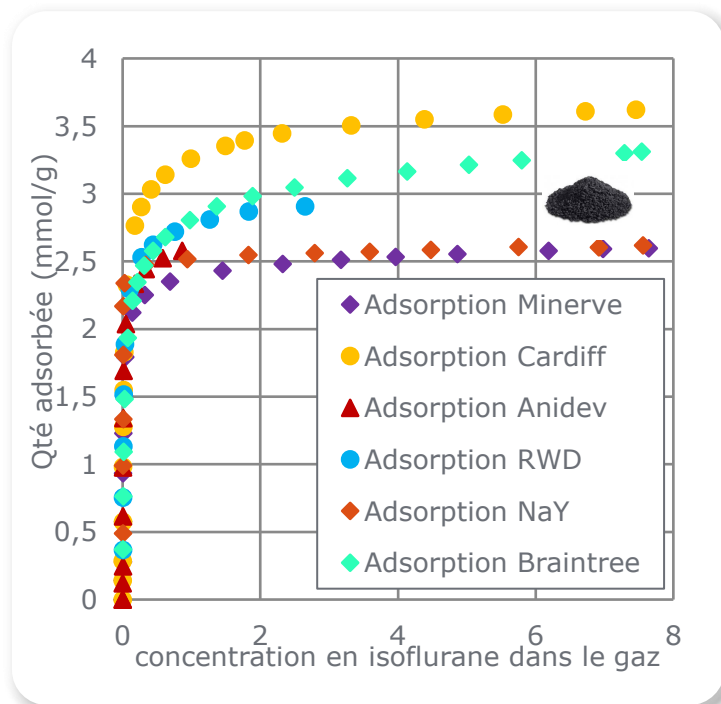
# L'Adsorption **gaz solide**

*Transfert d'un gaz vers la surface d'un solide*



# Choix du Matériau

Quel matériau capte le plus l'isoflurane ? Isothermes d'adsorption de l'isoflurane



0,05%-vol d'Iso  
~2%-vol d'eau  
~0,05%-vol de CO<sub>2</sub>  
T=25°C

Pas tous égaux... et la zéolithe au sodium est un bon candidat  
Mais qu'en est-il de la sélectivité face à l'eau et au CO<sub>2</sub>?





# Du silicium et du sodium

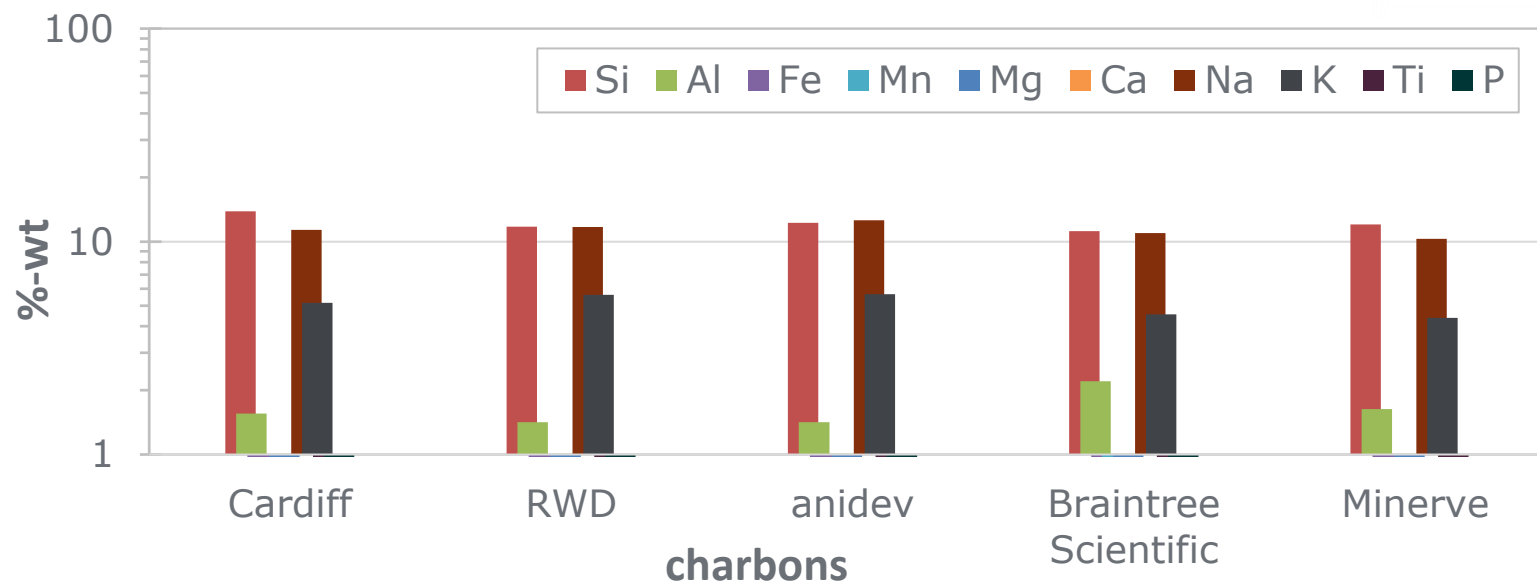
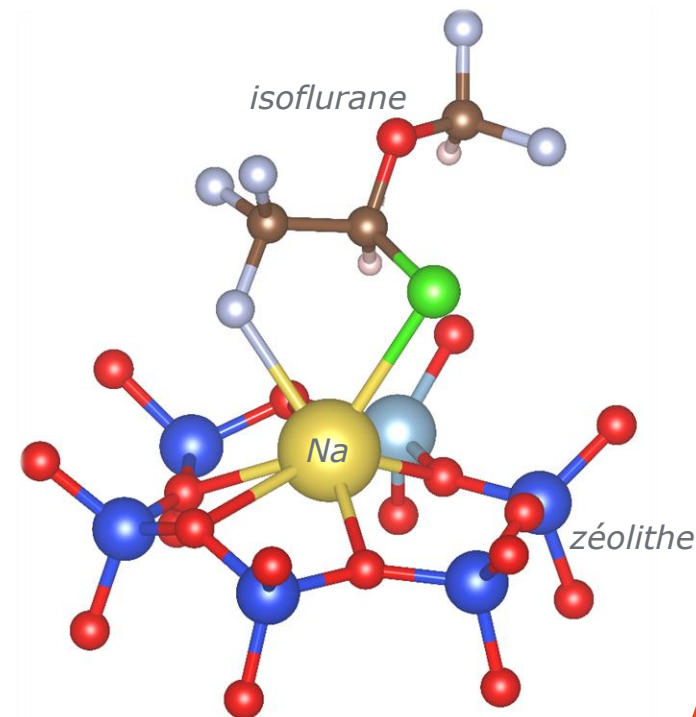
*Des cartouches bien pensées, à base de silicium et de sodium*

## Modélisation moléculaire

- Dix éléments testés (Na, K, Cu,...)
- Le sodium est le meilleur élément

## Analyse élémentaire

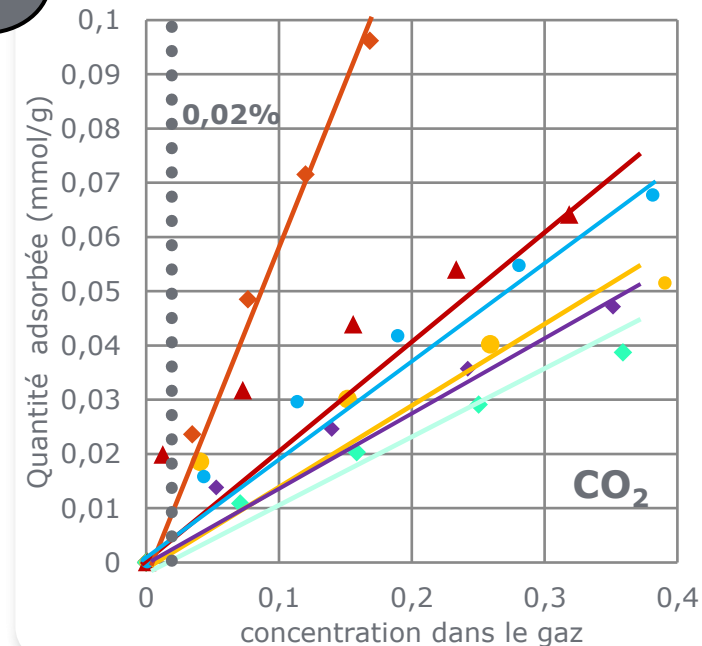
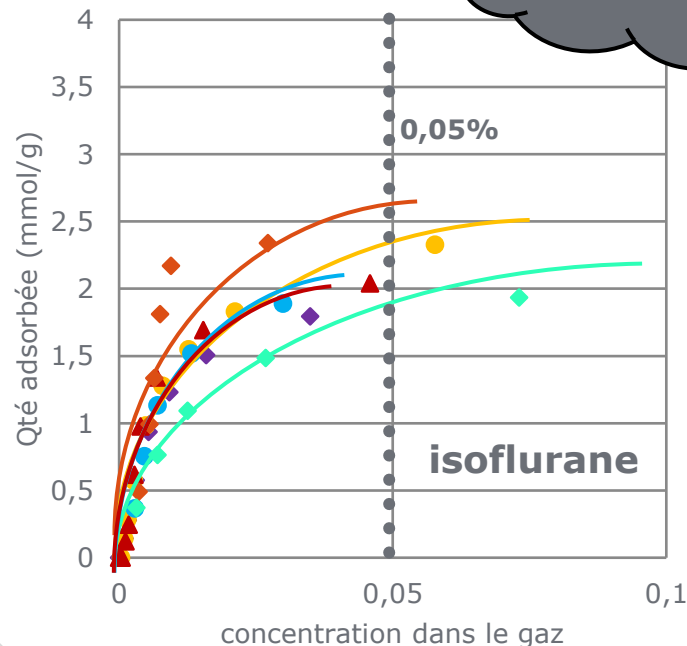
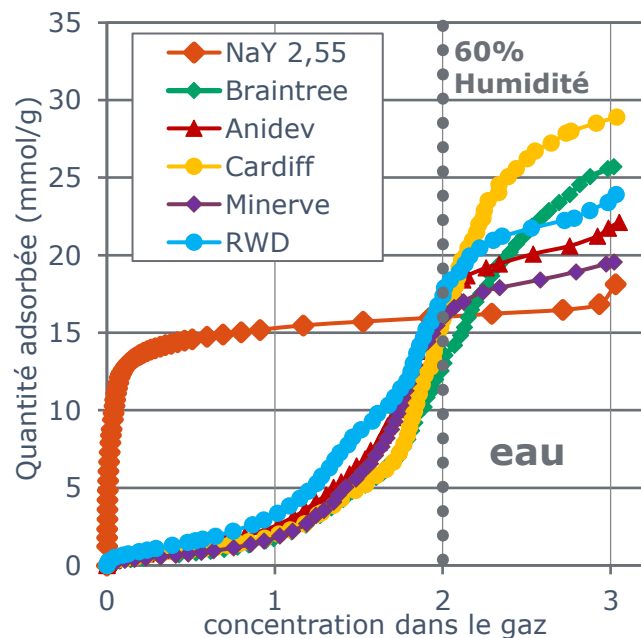
- ICP OES (*Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy*)
- Le sodium est présent dans les cartouches de charbon



# Choix du Matériau

Comparaison avec l'adsorption de l'eau et du dioxyde de carbone

Isothermes d'adsorption et sélectivité



0,05%-vol d'Iso  
~2%-vol d'eau  
~0,02%-vol de CO<sub>2</sub>  
T=25°C

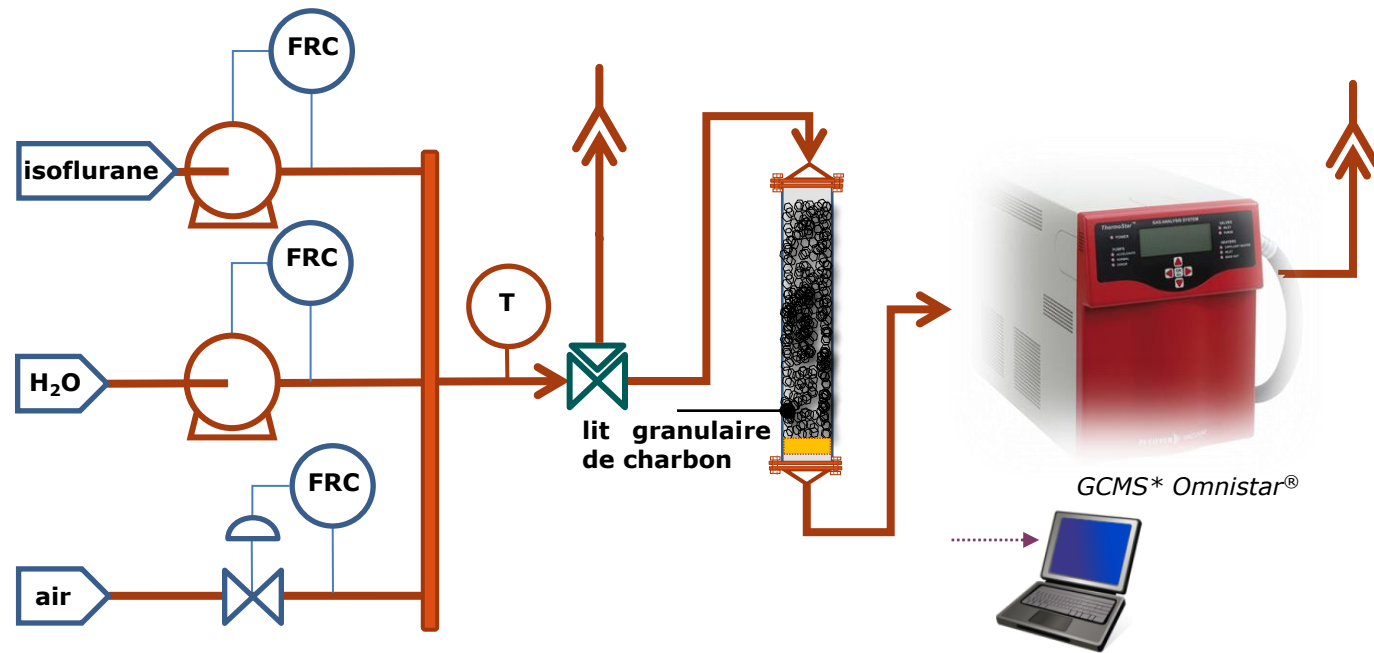


Faible adsorption du CO<sub>2</sub>; plus problématique pour l'eau  
Les charbons sont de bons matériaux car ils sont dopés au sodium



# Interactions Eau / Isoflurane

Y'a-t-il compétition entre l'eau et l'isoflurane ? Courbe de percée



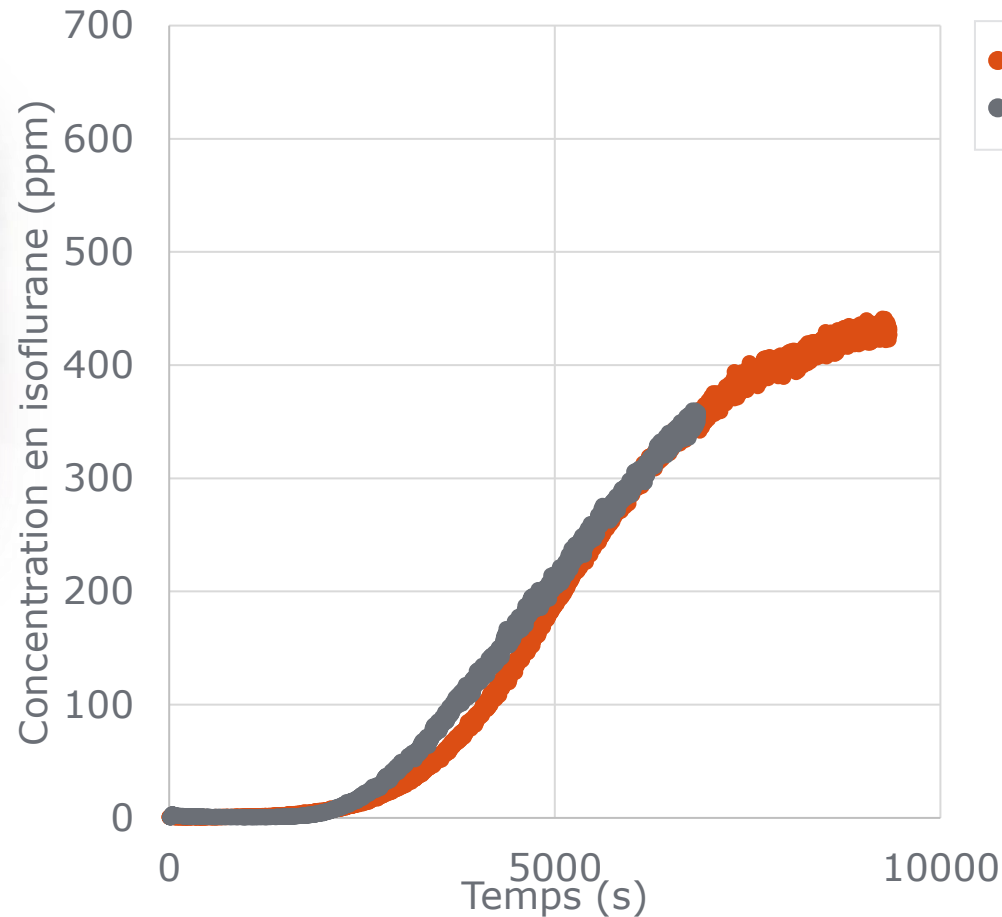
$m_{\text{charbon}} = 9 \text{ g}$   
 débit total : 5 NL/min  
 $T = 25 \text{ °C}$

\*GCMS : Chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse

# air + isoflurane, 500 ppm (0,05%-vol)

$m_{\text{charbon}} = 9 \text{ g}$   
 débit total : 5 NL/min  
 $T = 25 \text{ °C}$

Exemple sur un cas, cartouche Minerve



Calcul « facteur d'échelle »

$m = 9 \text{ g}$   
 percée à 10 ppm  
 $t = 2891 \text{ s}$   
 $m = 930,7 \text{ g}$

➔ 83 heures  
 ( $t_{\text{préconisé}} = 40 \text{ heures}$ )



$m = 9 \text{ g}$   
 percée à 2 ppm  
 $t = 1200 \text{ s}$   
 $m = 930,7 \text{ g}$

➔ 34 heures



$m_{\text{charbon}} = 930,7 \text{ g}$

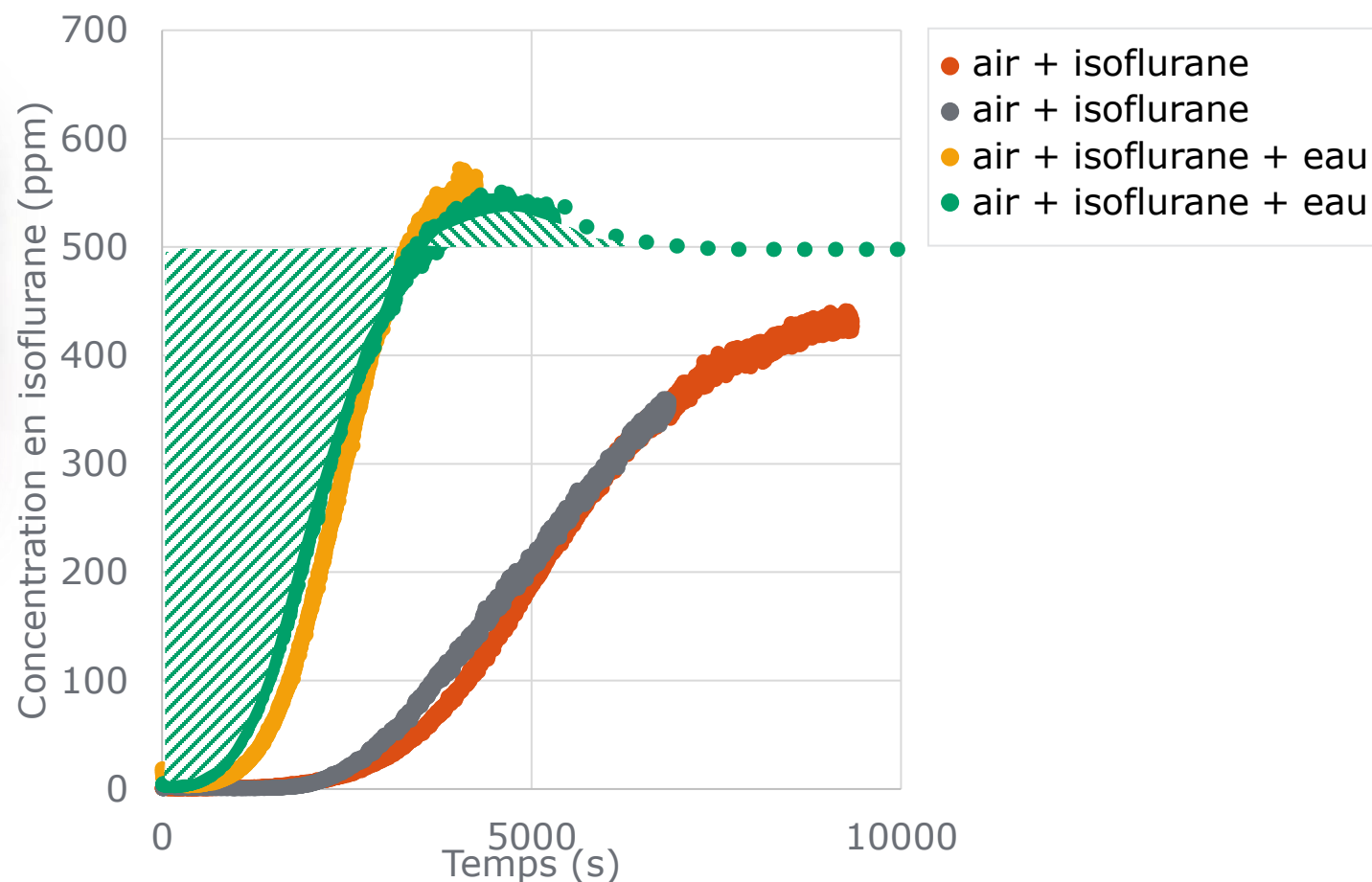
# air + isoflurane (500 ppm) + eau (2%-vol)

$m_{\text{charbon}} = 9 \text{ g}$   
 débit total : 5 NL/min  
 T=20 °C

Exemple sur un cas, cartouche Minerve



$m_{\text{charbon}} = 930,7 \text{ g}$



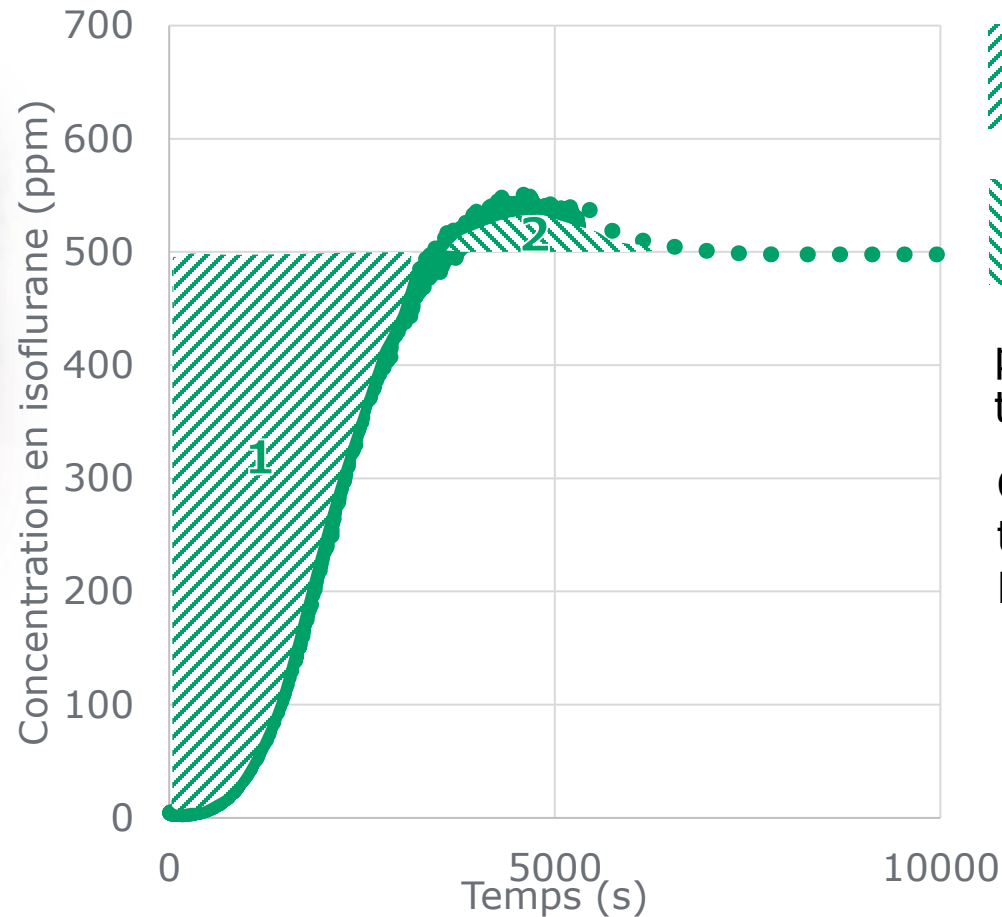
# air + isoflurane (500 ppm) + eau (2%-vol)

$m_{\text{charbon}} = 9 \text{ g}$   
 débit total : 5 NL/min  
 $T = 20 \text{ °C}$

Le roll-up



$m_{\text{charbon}} = 930,7 \text{ g}$



1 Proportionnelle à la quantité piégée

2 Roll-up :  
Proportionnelle à la quantité libérée

percée à 10 ppm  
 $t = 530 \text{ s}$

Calcul « facteur d'échelle » :  
 $t = 530 \text{ s}$  pour 9 g  
 Donc pour 930,7 g

➔  $t_{\text{utilisation}} = 15 \text{ heures}$   
 ( $t_{\text{préconisé}} = 40 \text{ heures}$ )



➔ Roll-up



# 05

## Conclusion

*& perspectives*



# Conclusion & Perspectives

Résultats préliminaires

L'eau semble être responsable de la perte d'efficacité du charbon

Expériences et prélèvements à conforter au sein de cabinets vétérinaires

## Ecoulement

- Cartouches perfectibles
- Présence de zones mortes



## Matériaux

- La zéolithe est efficace  
→ A confirmer en présence d'eau
- Le charbon *Cardiff* est légèrement plus efficace que les autres

## Interactions

- L'eau réduit l'efficacité de captage :  
→ Bon résultat sans eau  
→ Présence d'un roll-up

## Préconisation

- Cartouches sous dimensionnées  
→ réduire le temps d'utilisation
- Assécher l'air de dilution (à confirmer)
- Rejet vers l'atmosphère



# Existe t'il des substituants à l'isoflurane ?

## Sévoflurane

### Avantages

Moins irritant.

Induction plus rapide et plus douce.

Meilleure tolérance chez l'enfant ou les patients sensibles.

Moins de complications respiratoires

Moins d'impact environnemental

### Limites

Coût plus élevé.

## Desflurane

### Avantages

Très rapide à éliminer

Très faible métabolisation

faible toxicité systémique

### Limites

Réveil plus rapide

Très irritant

Très fort impact environnemental

Nécessite un vaporisateur spécialisé

## Anesthésie intraveineuse

### Avantages

Évite l'utilisation des gaz halogénés.

Réduction des risques d'exposition pro.

Moins d'impact environnemental

### Limites

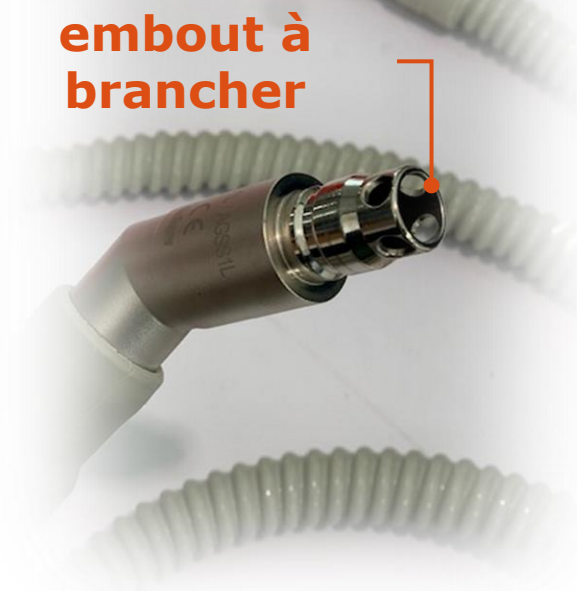
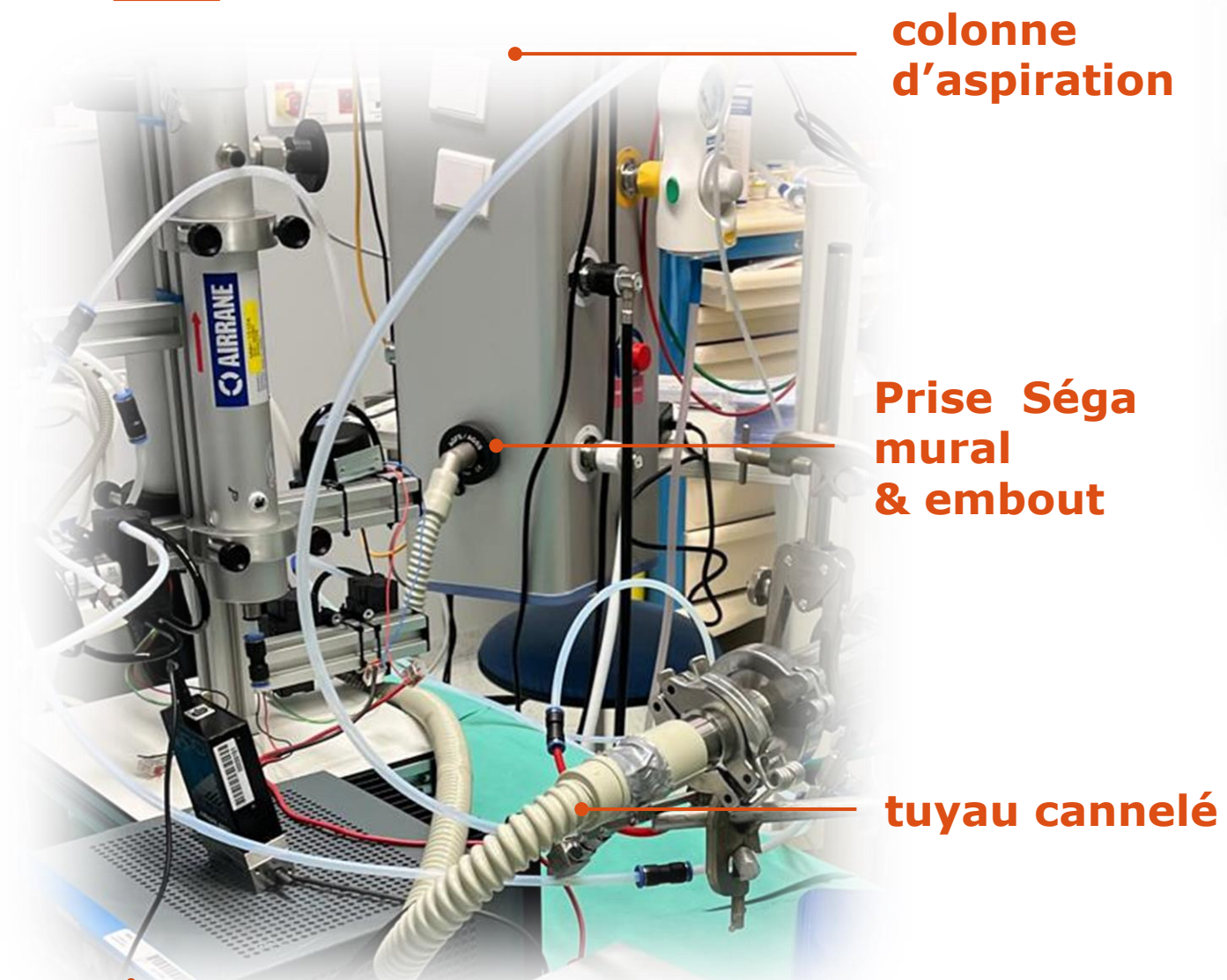
Matériel de perfusion

Surveillance spécifiques

Etc.



# Les prises **SEGA**





# Bibliographie

- Wiggins P, Schenker MB, Green R, Samuels S. Prevalence of hazardous exposures in veterinary practice. *American J Industrial Med.* janv 1989;16(1):55-66.
- Kramer BM, Hellyer PW, Rishniw M, Kogan LR. Anesthetic and analgesic techniques used for dogs undergoing ovariohysterectomies in general practice in the United States. *Veterinary Anaesthesia and Analgesia.*, 1 nov 2022;49(6):556-62.
- Boivin JF. Risk of spontaneous abortion in women occupationally exposed to anaesthetic gases: a meta-analysis. *Occup Environ Med.*, août 1997;54(8):541-8.
- Schenker MB, Samuels SJ, Green RS, Wiggins P. Adverse reproductive outcomes among female veterinarians. *Am J Epidemiol.*, juill 1990;132(1):96-106.
- Pokhrel LR, Grady KD. Risk assessment of occupational exposure to anesthesia Isoflurane in the hospital and veterinary settings. *Science of The Total Environment*, 20 août 2021;783:146894.
- Aldemir T, Turan S, Gomceli I, Ayik I, Erdem O, Yagar S, et al., A comparison of the effects of desflurane and isoflurane on rat pulmonary parenchyme histopathology and malondialdehyde levels. *J Pak Med Assoc.*, nov 2012;62(11):1174-8.
- Yamasaki K, van Eeden SF., Lung Macrophage Phenotypes and Functional Responses: Role in the Pathogenesis of COPD, *Int J Mol Sci.* 15 févr 2018;19(2):582.
- Liu S, Zhang L, Liu Y, Shen X, Yang L, Isoflurane inhibits embryonic stem cell self-renewal through retinoic acid receptor, *Biomed Pharmacother*, août 2015;74:111-6.
- Palanisamy A. Maternal anesthesia and fetal neurodevelopment. *International Journal of Obstetric Anesthesia.* 1 avril 2012;21(2):152-62.
- Cohen EN, Bellville JW, Brown BW. Anesthesia, pregnancy, and miscarriage: a study of operating room nurses and anesthesiologists. *Anesthesiology.* oct 1971;35(4):343-7.
- IARC. Silica and Some Silicates, <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Silica-And-Some-Silicates-1987>
- Anaesthetics, volatile (IARC Summary & Evaluation, Supplement7, 1987, [https://incchem.org/documents/iarc/suppl7/anaesthetics\\_vol.html](https://incchem.org/documents/iarc/suppl7/anaesthetics_vol.html)
- Guide\_pour\_prevenir\_les\_expositions\_professionnelles\_aux\_gaz\_et\_vapeurs\_anesthesiques,  
[https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/Guide\\_pour\\_prevenir\\_les\\_expositions\\_professionnelles\\_aux\\_gaz\\_et\\_vapeurs\\_anesthesiques.pdf](https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/Guide_pour_prevenir_les_expositions_professionnelles_aux_gaz_et_vapeurs_anesthesiques.pdf)
- Exposition aux anesthésiants volatils dans les établissements de soin vétérinaires : enjeux de prévention – INRS, [www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20110](http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20110)
- Whyte HE. Evaluation of the performance of photocatalytic systems for the treatment of indoor air in medical environments.
- Sevoflurane M-164 - MétroPol - INRS [Internet]. [cité 23 avr 2024]. Disponible sur: [https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL\\_164](https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol/fiche.html?refINRS=METROPOL_164)
- Occupational exposure to waste anesthetic gases and vapors : criteria for a recommended standard [Internet]. [cité 29 avril 2024]-<https://stacks.cdc.gov/view/cdc/19384>



# Merci de votre attention



Notre métier,  
rendre le vôtre plus sûr

[www.inrs.fr](http://www.inrs.fr)

