

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



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), $T_{éb.} \sim 50^{\circ}C$ 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%)

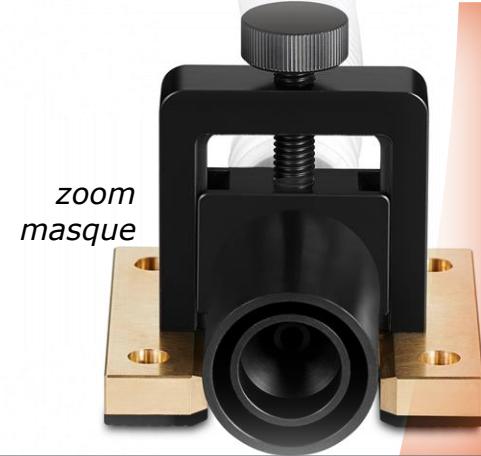


*MEOPA : mélange équimolaire d'oxygène et de protoxyde d'azote

Le procédé anesthésiant

Bullage d'air ambiant dans de l'isoflurane liquide

Passage par une cartouche de charbon actif, en sortie



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)



VLEP¹ 8-heures (non réglementaire)

Finlande : 10 ppm

USA : 2 ppm (NIOSH²)

France : 2 ppm



¹VLEP : Valeurs limites d'exposition professionnelle

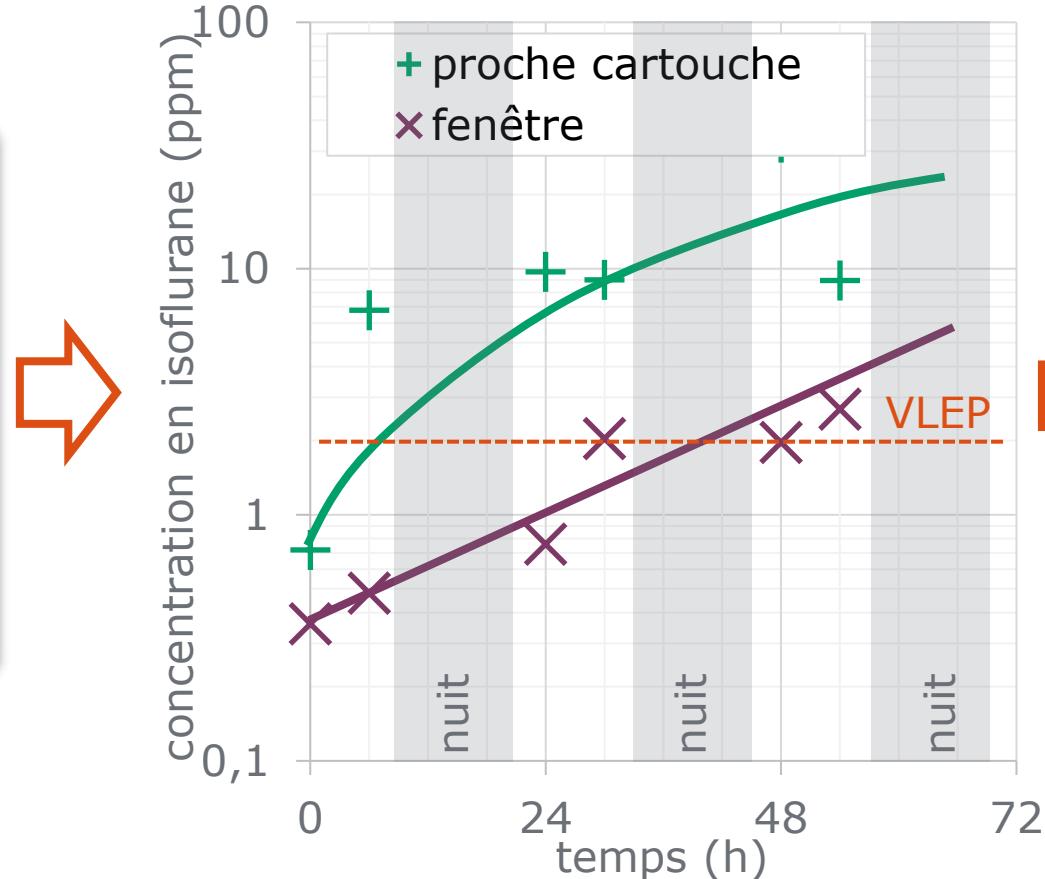
²National Institute for Occupational Safety and Health | NIOSH

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



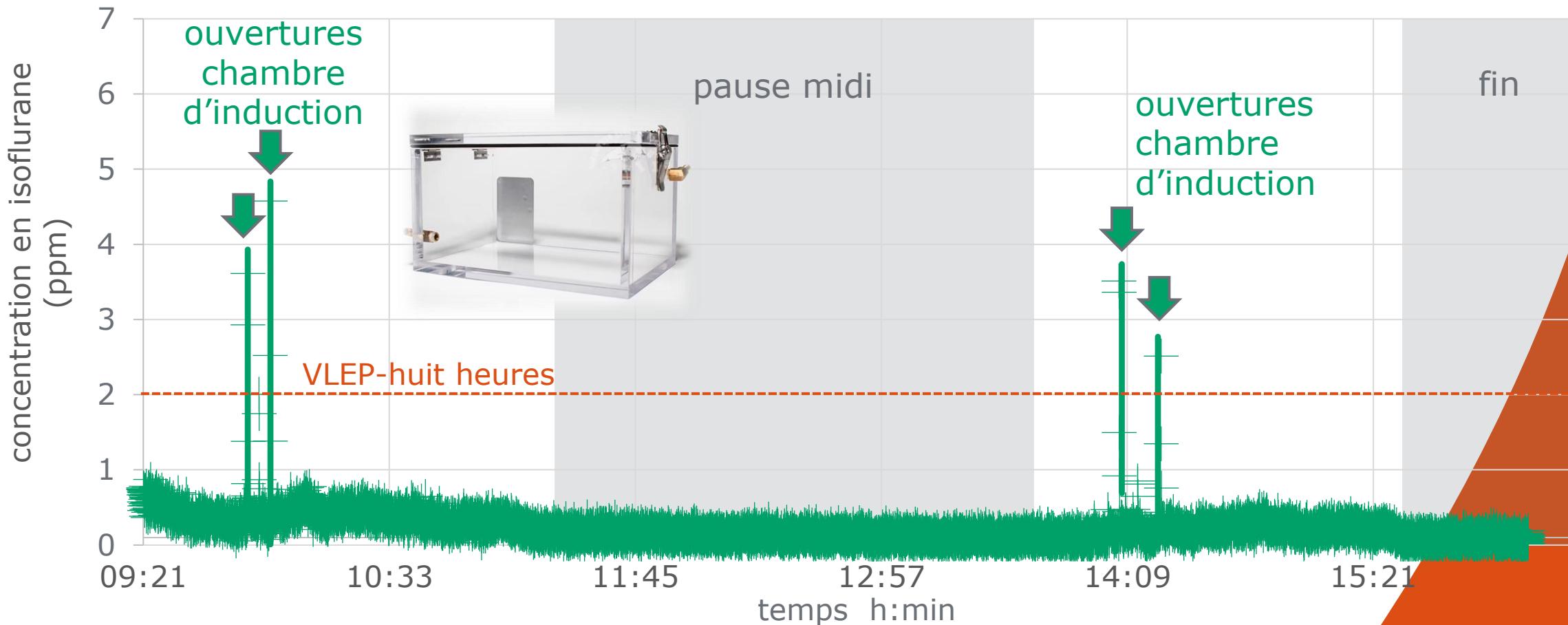
Exemple de concentration au sein d'une salle de chirurgie (INRS, E. Langlois Météor/MP & F. Bonthoux Avatar/IP) - taux de renouvellement d'air de 33 vol/h

Investigations

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

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



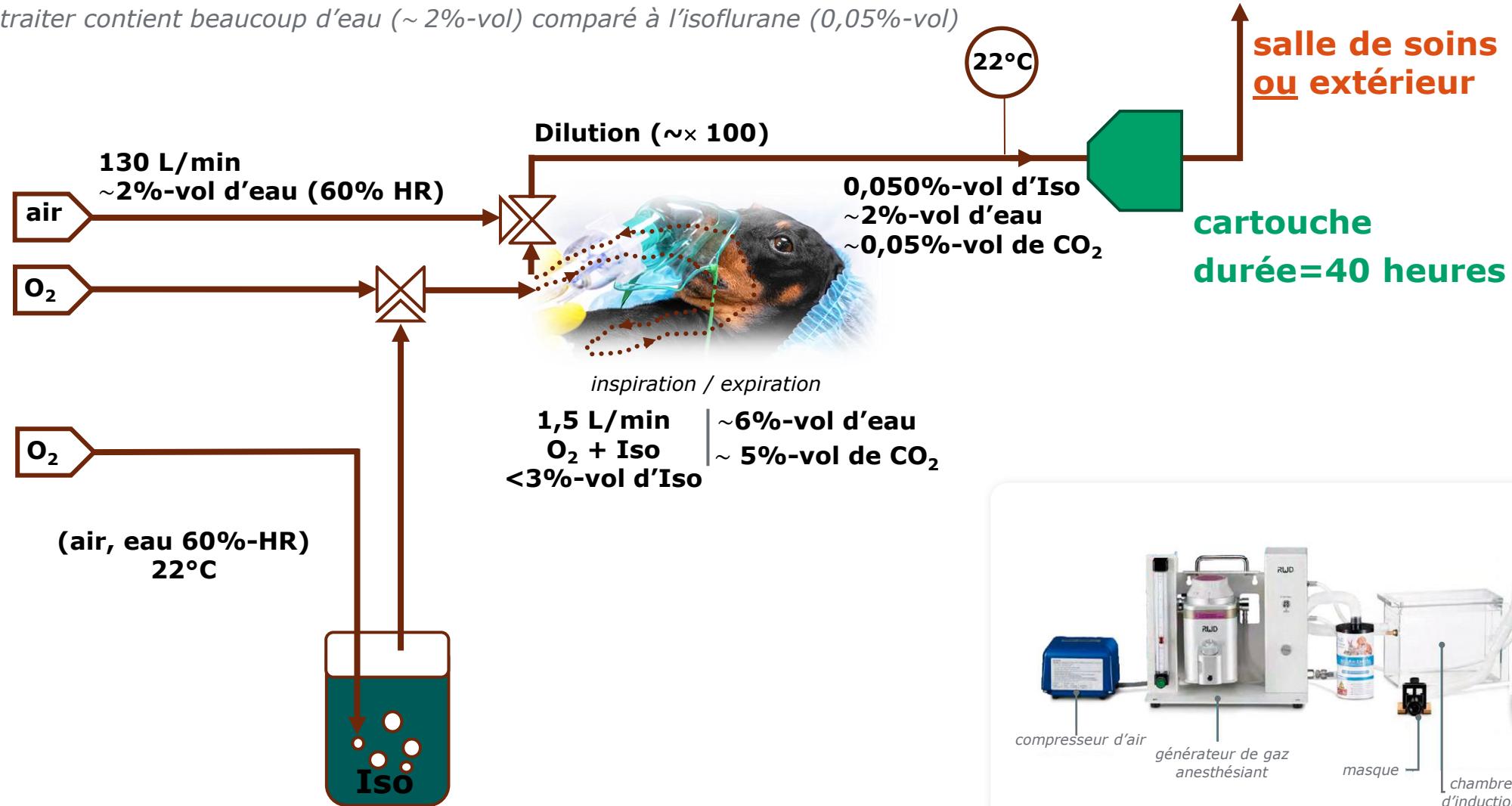
04

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

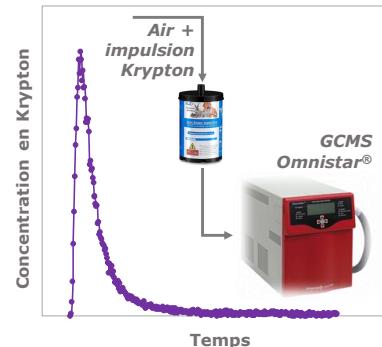
Etudier les cinq cartouches industrielles et la nature de leur charbon actif

01

Ecoulement

Mesures de DTS*

Déterminer les zones mortes ou les court-circuits



02

Matériaux

Comparer leur nature :

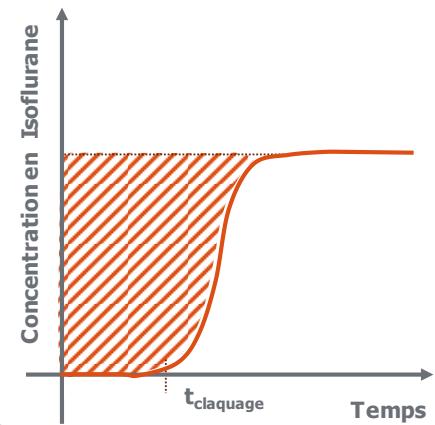
- Quantité adsorbée / g
- 5 charbons
- 1 zéolithe au sodium



03

Interactions

- Isoflurane/eau/CO₂
- 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



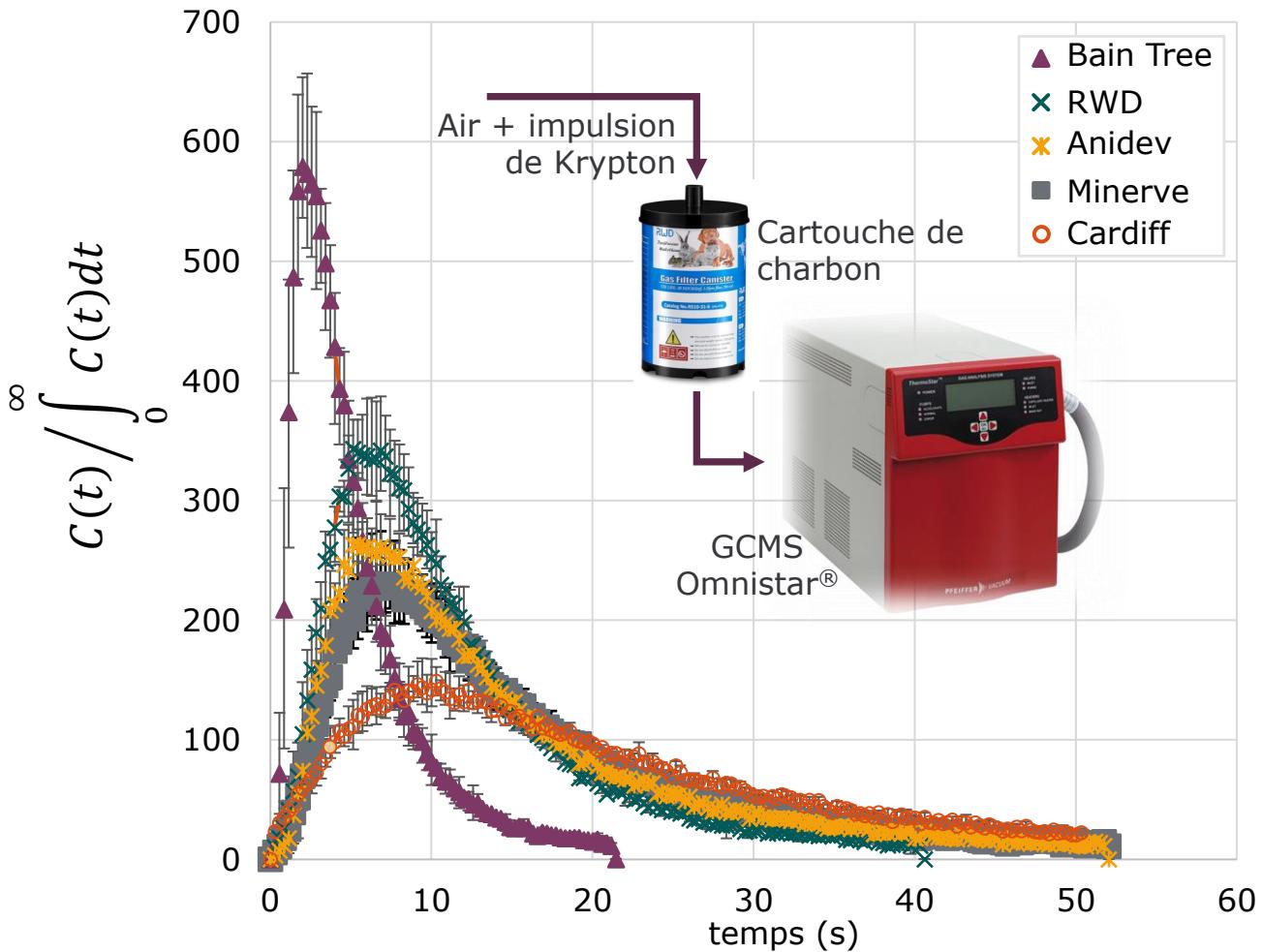
GCMS¹
Omnistar[®]

¹DTS : distribution de temps de séjour

²GCMS : Chromatographie en phase Gazeuse - Spectrométrie de Masse

Etude de l'écoulement

Etude de cinq cartouches industrielles

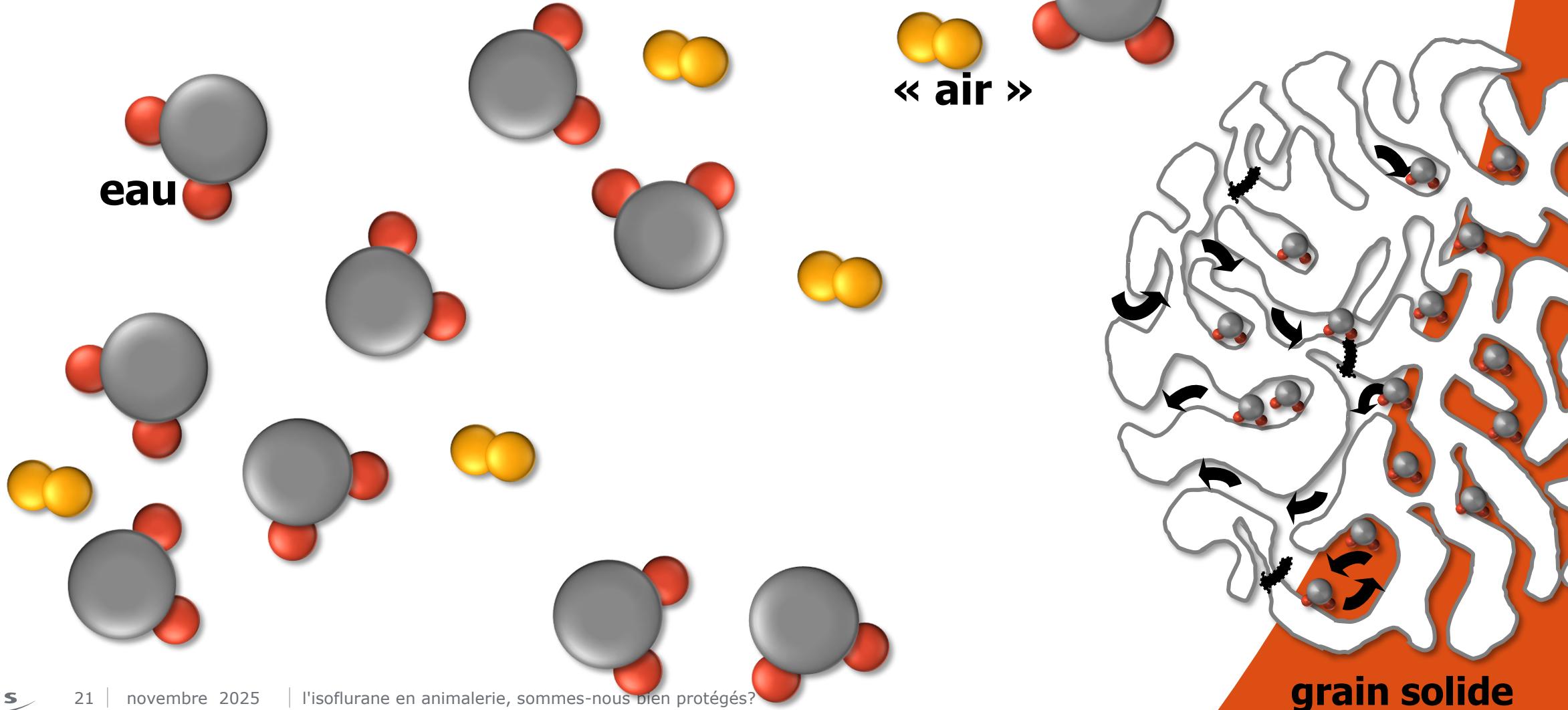


Conclusion

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

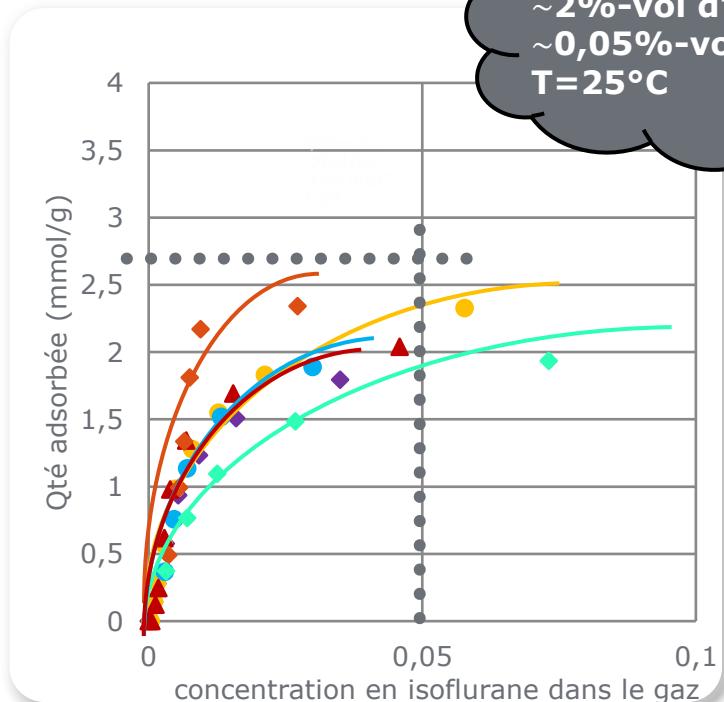
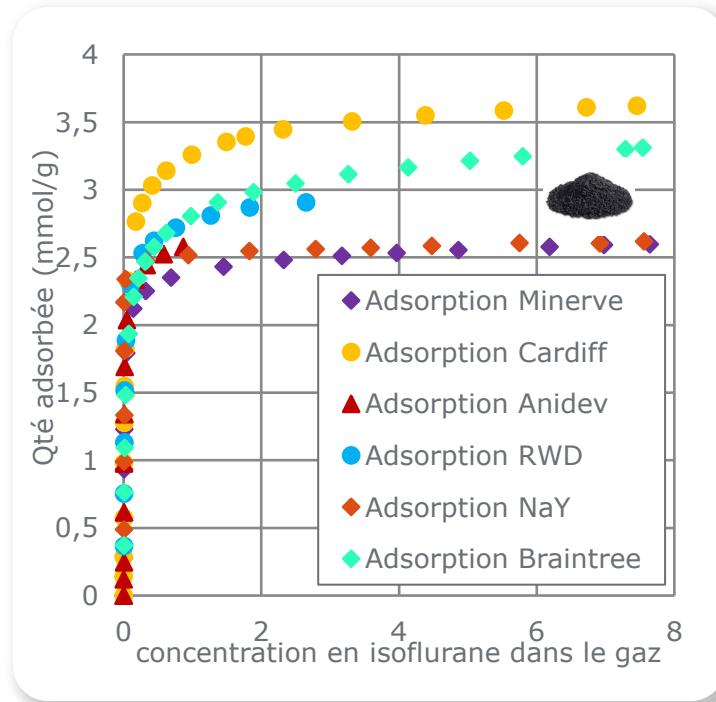
L'Adsorption gaz solide

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



Choix du Matériaux

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



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 CO₂?

BelSorp MaxII Manométrie de Sorption
pour déterminer des isothermes

Du silicium et du sodium

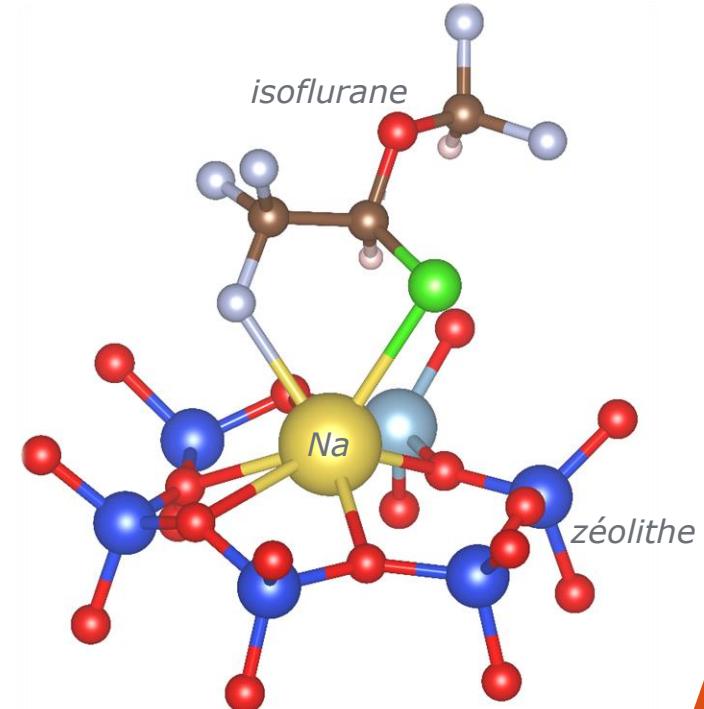
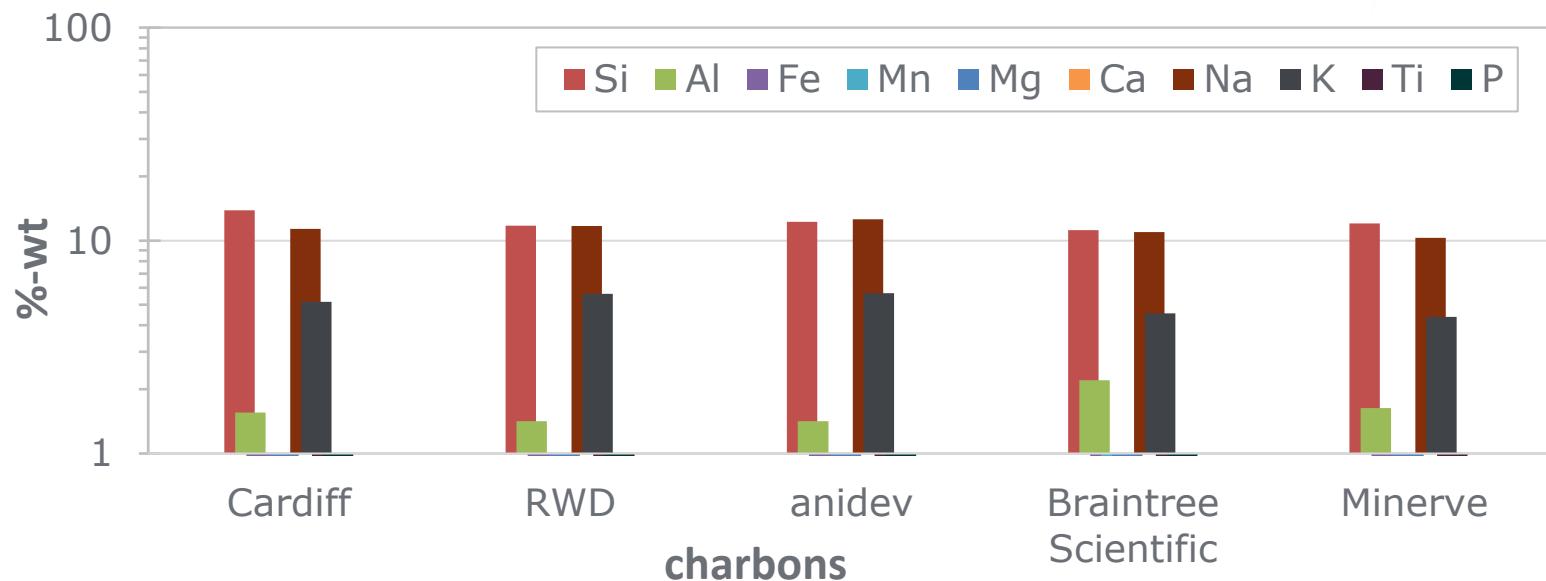
Des cartouches bien pensées, à base de silicium et de sodium

Modélisation moléculaire

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

Analyse élémentaire

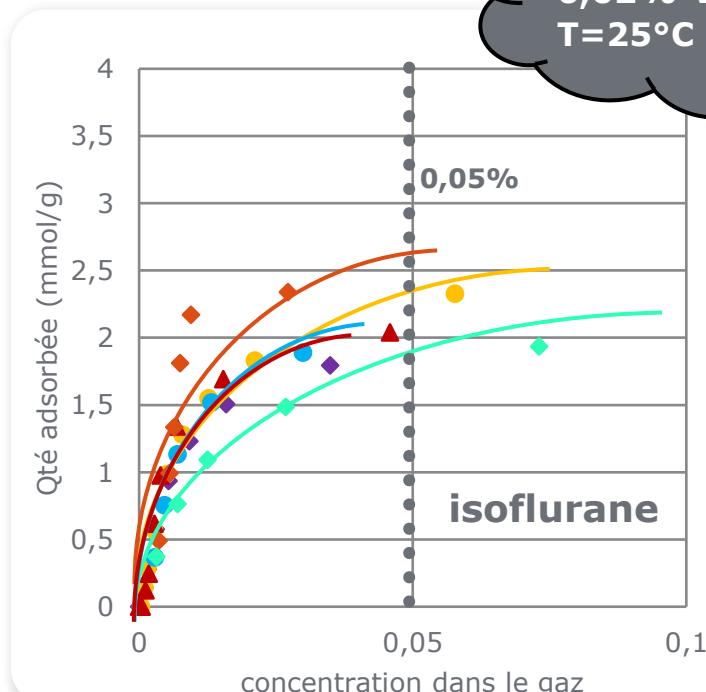
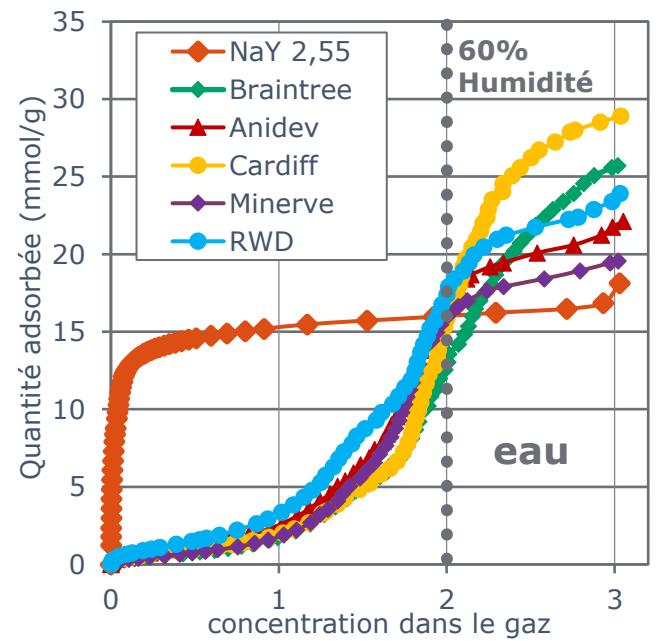
- ICP OES (*Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy*)
- Le sodium est présent dans les cartouches de charbon



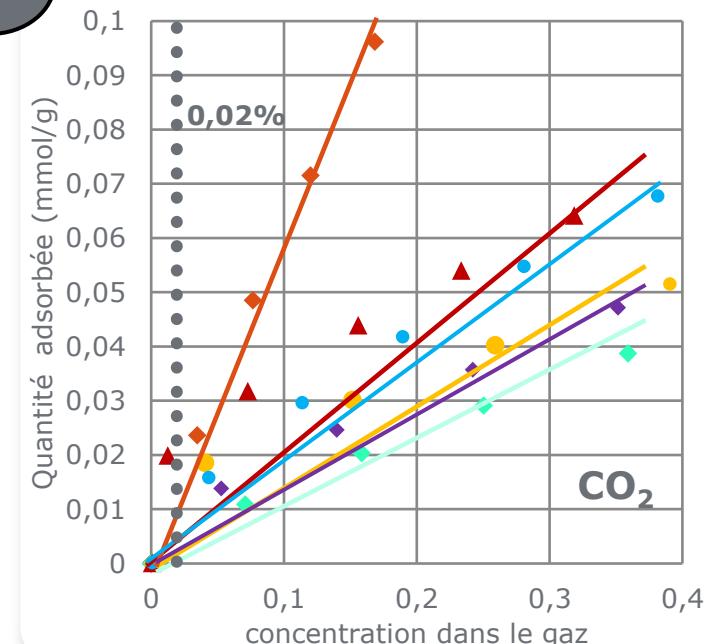
Choix du Matériaux

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

Isothermes d'adsorption et sélectivité



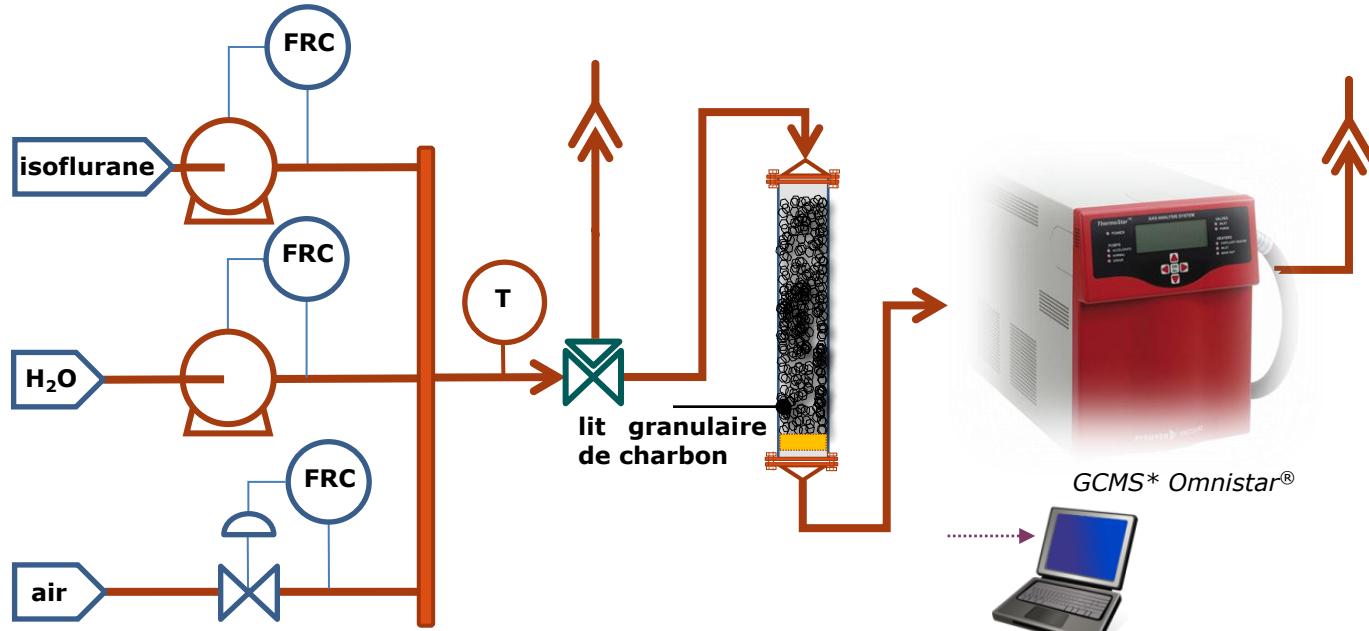
0,05%-vol d'Iso
~2%-vol d'eau
~0,02%-vol de CO₂
T=25°C



Faible adsorption du CO₂; 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



air
+ isoflurane
(500 ppm)

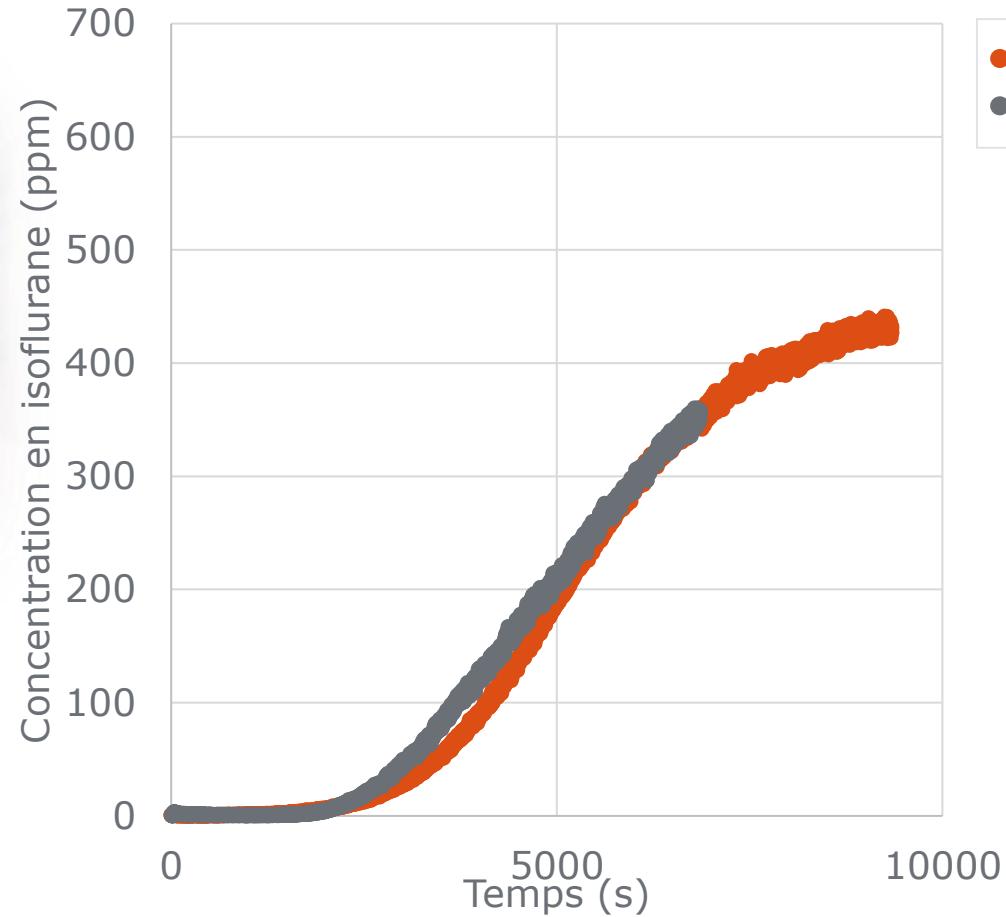
air
+ isoflurane
(500 ppm)
+ eau
(2%-vol)

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

*GCMS : Chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse

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

Exemple sur un cas, cartouche Minerve



- air + isoflurane
- air + isoflurane

Calcul « facteur d'échelle »

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

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



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

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

→ 34 heures

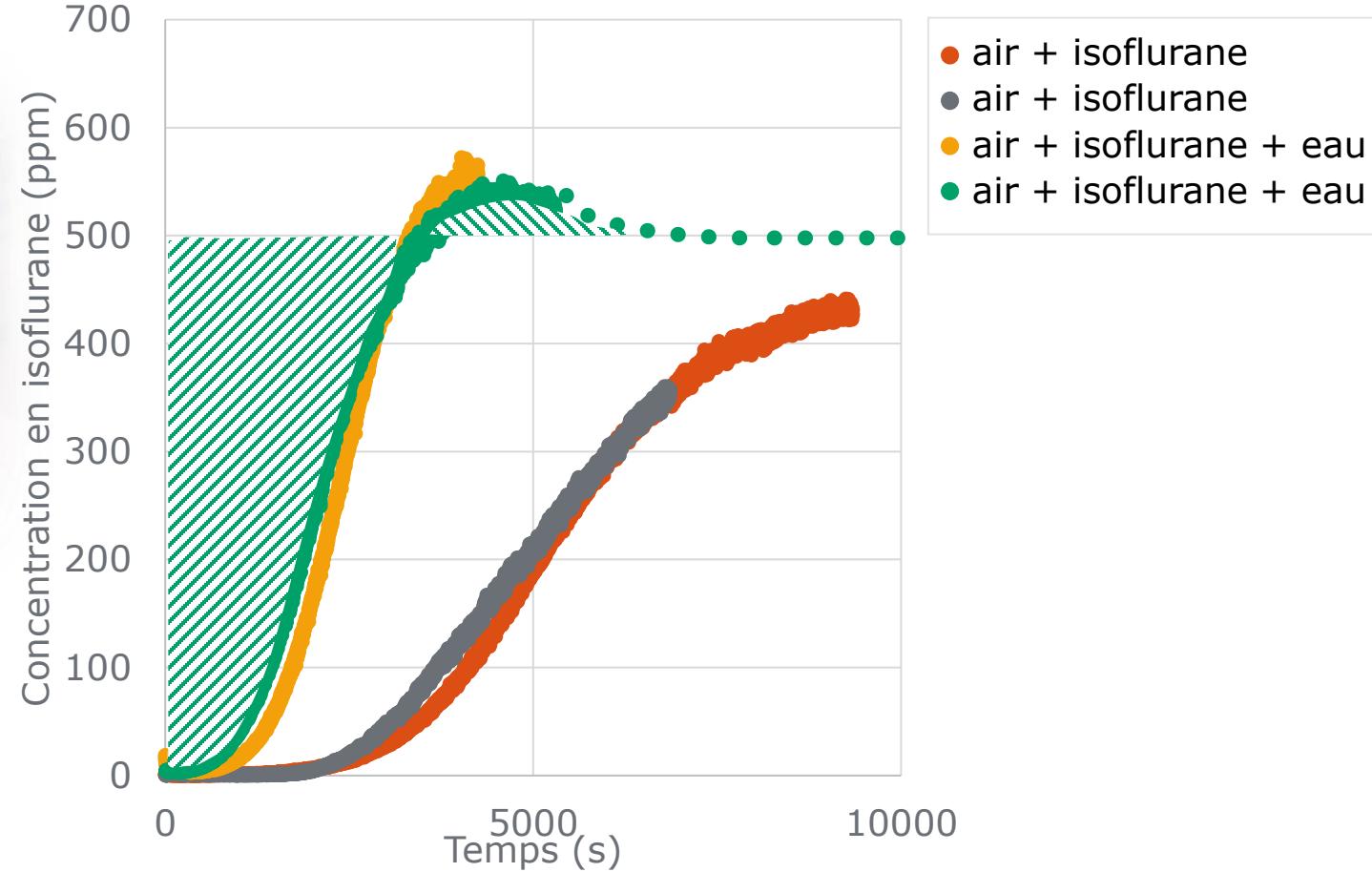


air + isoflurane (500 ppm) + eau (2%-vol)

Exemple sur un cas, cartouche Minerve



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



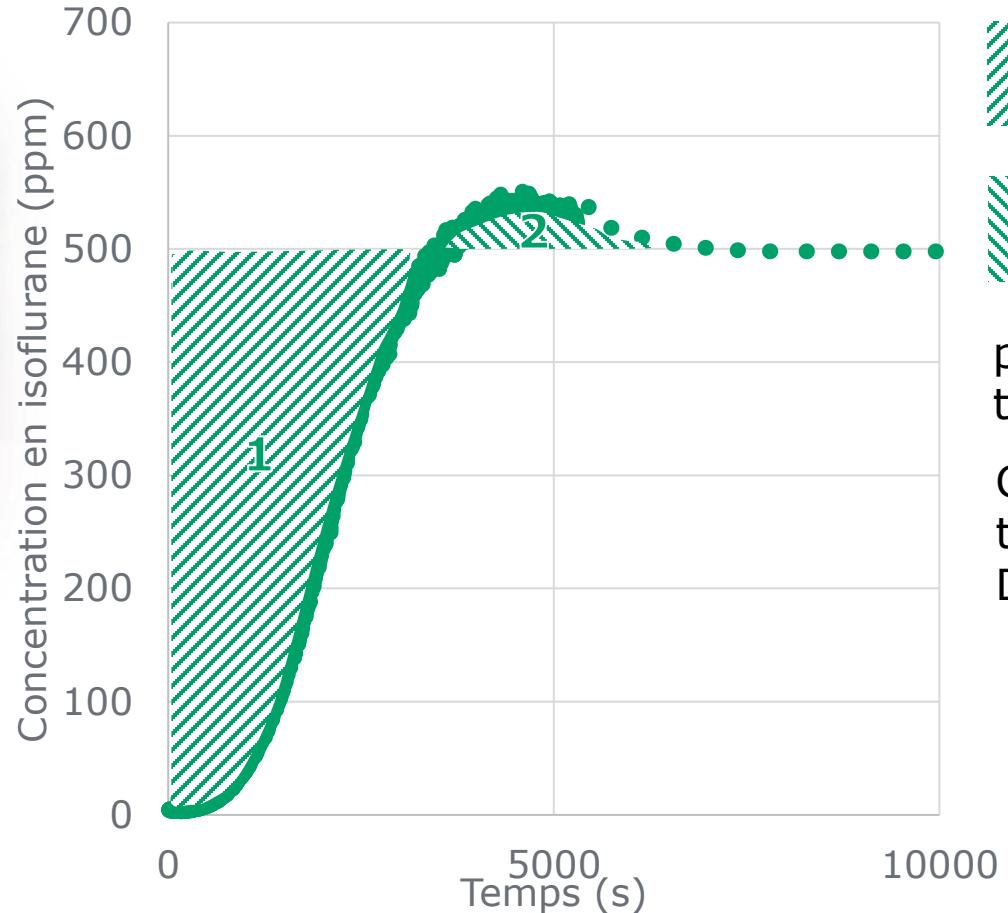
$m_{\text{charbon}} = 9 \text{ g}$
débit total : 5 NL/min
 $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

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

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.

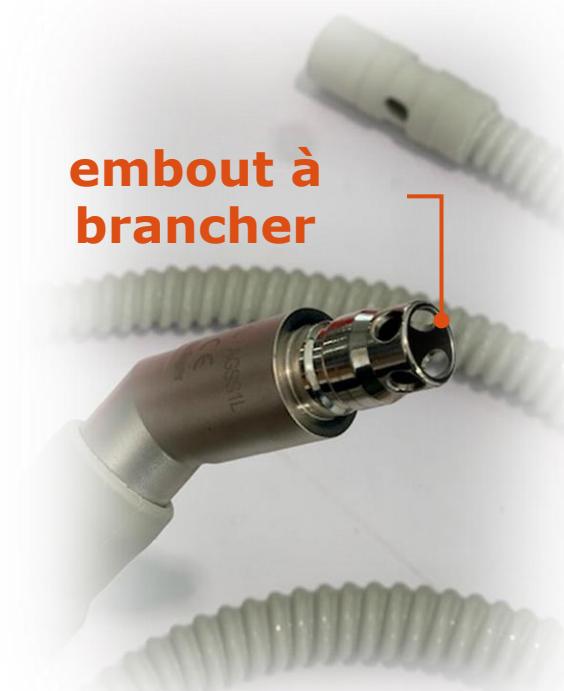
Les prises SEGA



colonne
d'aspiration

Prise Séga
mural
& embout

embout à
brancher



Prise Séga
mural

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 anesthetists. *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://inchem.org/documents/iarcsuppl7/anaesthetics_vol.html
- Guide_pour_prevenir_les_expositions_professionnelles_aux_gaz_et_vapeurs_anesthésiques,
https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/Guide_pour_prevenir_les_expositions_professionnelles_aux_gaz_et_vapeurs_anesthésiques.pdf
- Exposition aux anesthésiants volatils dans les établissements de soin vétérinaires : enjeux de prévention – INRS, 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
- 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