

Notes techniques

ÉTANCHÉITÉ DES CAISSONS D'ÉPURATION ÉQUIPANT LES CABINES D'ENGINS MOBILES DANS LES ZONES POLLUÉES : CAS DES POLLUANTS GAZEUX

Certaines cabines d'engins mobiles apportent une protection au conducteur contre les risques liés aux particules et/ou aux gaz et vapeurs toxiques présents dans l'environnement où évolue le véhicule. La cabine est équipée d'un caisson d'épuration dont l'objectif est d'épurer l'air qui l'alimente et la maintient en surpression par rapport à l'extérieur.

L'INRS a évalué huit modèles commerciaux pour épurer l'ammoniac, et a développé un protocole expérimental avec un gaz traceur pour en mesurer l'étanchéité.

STÉPHANIE
MARSTEAU,
BRUNO
GALLAND,
MATHIEU
MARCHAL
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Les cabines pressurisées à air épuré (CPAE) (Cf. *Figure 1*) sont couramment utilisées dans de nombreux secteurs d'activité tels que le BTP, le traitement et la valorisation des déchets, ou encore l'agriculture. La surpression est assurée par l'introduction en continu d'un débit d'air neuf. Cet air doit être épuré avant introduction dans la cabine. Un caisson constitué d'un ventilateur et de deux phases de séparation en série assure cette épuration. Un élément filtrant (ou un cyclone) permet d'arrêter les particules solides et les aérosols, et un lit d'adsorbant permet de piéger les gaz et les vapeurs. Ces caissons peuvent équiper la cabine dès sa conception, ou être installés ensuite en « rétrofit ».

Des recommandations de l'INRS, issues de résultats d'une précédente étude et publiées dans une brochure, existent pour les CPAE des engins mobiles [1]. En l'absence de données spécifiques sur l'épuration des gaz et vapeurs, les recommandations pour ces polluants se basent sur les normes concernant les appareils de protection respiratoire (APR) à ventilation assistée : NF EN 12941 et NF EN 12942 [2]. Des exigences normatives existent pour certains caissons, toujours inspirées de ces normes, mais uniquement dans le cas des engins agricoles

et forestiers (selon la norme NF EN 15695, parties -1 et -2 [3]).

À ce jour, aucune norme ne fixe d'essais d'étanchéité concernant les équipements commercialisés pour l'assainissement de l'air alimentant les CPAE des engins de chantier. La normalisation en vigueur sur ces engins prévoit la création d'une norme de sécurité spécifique pour cet assainissement. L'objectif de cet article est de présenter une méthodologie globale d'évaluation de l'étanchéité des caissons pour l'assainissement de l'air contenant des polluants gazeux. Cette méthode de test permet de s'assurer de la réelle protection de l'opérateur, en proposant une évaluation de l'étanchéité face à des polluants gazeux.

Matériel et méthodes

Caissons étudiés

Huit modèles commerciaux de caissons ont été sélectionnés pour cette étude. Ils diffèrent par leurs débits de fonctionnement et par les charges épurantes proposées (forme et masse d'adsorbant). Cinq modèles ont des charges épurantes planes, trois modèles des charges annulaires, comme décrit dans le *Tableau 1* et la *Figure 2*.

Les adsorbants commercialisés sont actuellement des charbons actifs, imprégnés ou non, selon



RÉSUMÉ

Dans le contexte de l'évaluation de caissons d'épuration équipant les cabines d'engins, l'INRS s'est intéressé à leur étanchéité face à l'ammoniac. Ainsi, une étude expérimentale a été menée sur

différents types de caissons pour évaluer leur étanchéité et développer un protocole alternatif avec un gaz traceur. Huit caissons ont été étudiés avec douze « charges épurantes » : des systèmes plans (cinq modèles) et

des systèmes annulaires (trois modèles). L'étude montre que l'étanchéité peut être évaluée avec un gaz traceur pour la grande majorité des couples caisson / charges épurantes.

TIGHTNESS OF FILTRATION BOXES FITTED TO MOBILE MACHINERY CABINS IN CONTAMINATED AREAS: THE CASE OF GASEOUS POLLUTANTS

Within the context of the evaluation of filtration boxes fitted to machinery cabins, INRS investigated their tightness against ammonia. An experimental study was conducted

on different types of boxes to assess their tightness and develop an alternative protocol with a tracer gas. Eight boxes were studied with twelve filtration media: flat systems

(five models) and round systems (three models). The study shows that tightness can be evaluated with a tracer gas for the majority of box/filtration media couples.

la pollution gazeuse ciblée. Plusieurs types d'adsorbants ont été définis pour les cartouches de protection respiratoire. Les principaux sont A, B, E, K ou AX, selon la norme NF EN 14387 [4]. Les charges épurantes reprennent cette classification et sont constituées d'un type de charbon ou d'un mélange de ceux-ci (Cf. Encadré 1). L'étude portant sur l'épuration de l'ammoniac (NH₃), seuls les modèles proposant une charge contenant au moins un adsorbant de type K ont été considérés.

Protocole expérimental

Le caisson équipé de ses filtres (filtre à particules et médium épurant) est positionné dans une enceinte de test dont l'entrée est canalisée. Le débit est réglé sur un intervalle compris entre 40 et 120 m³.h⁻¹ selon les modèles. Le débit de fonctionnement d'un caisson est variable, car il est régulé pour maintenir la consigne de surpression de la cabine. L'admission d'air du caisson est laissée libre et sa sortie est canalisée par un conduit de diamètre correspondant

Poussières et gaz nocifs

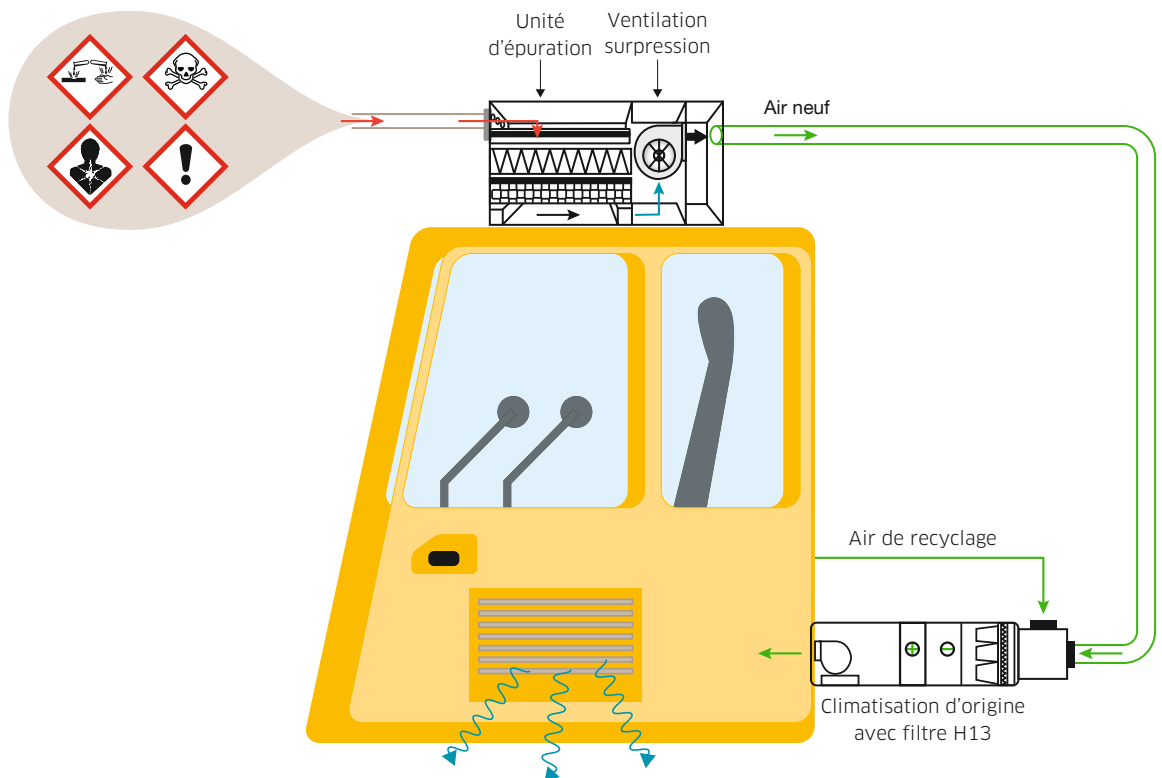


FIGURE 1 →
Schéma d'une cabine à air épuré (CPAE) avec caisson (Source : ED 6228, INRS [1]). Le caisson, équipé de son filtre à particules et de sa charge épurante pour les gaz, est positionné à l'extérieur de la cabine, sur l'engin. Il introduit l'air extérieur épuré dans la cabine et maintient ainsi celle-ci en surpression par rapport à son environnement.

aux spécifications techniques du caisson. Le flux d'air sortant est rejeté dans un conduit d'extraction. Le débit généré par le caisson est mesuré par anémométrie à fil chaud dans le conduit de sortie. La température et l'hygrométrie de l'air traité sont également enregistrées. L'humidité relative est celle du laboratoire et est comprise pour l'ensemble des essais entre 40% et 55 %, la température est de $[20 \pm 5]^{\circ}\text{C}$. L'atmosphère en entrée de caisson est maintenue à une concentration constante en polluant. Cette concentration est générée par adjonction régulée de gaz par un régulateur de débit massique (RDM) dans l'entrée canalisée de l'enceinte. L'ammoniac (NH_3) est le gaz cible des caissons étudiés, les essais d'étanchéité réalisés ont donc concerné ce gaz. Toutefois, des essais avec du cyclohexane (C_6H_{12}) ont aussi été réalisés, afin de démontrer la faisabilité de son utilisation comme gaz traceur pour la mesure d'étanchéité. L'idée est de préconiser, dès que cela est possible, l'utilisation du cyclohexane, moins contraignant en matière de sécurité des opérateurs.

Des mesures en temps réel de concentrations sont réalisées, à la fois à proximité de l'entrée du caisson et dans le conduit de sortie, par des détecteurs à photo-ionisation (PID). Ces appareils permettent de mesurer la concentration en temps réel (Cf. Encadré 3). Les mesures réalisées avec l'ammoniac ont été obtenues au débit maximal réalisable expérimentalement, pour chaque caisson. La concentration d'essai en amont était de l'ordre de 1000 ppm_v (parties par million volumique). Pour les essais au cyclohexane, la méthodologie retenue a été de tester l'ensemble des caissons à plusieurs débits, avec une concentration d'essai de 200 ppm_v.

La Figure 3 présente le schéma de principe du banc d'essai utilisé.

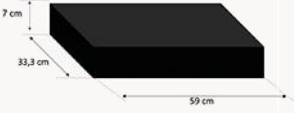
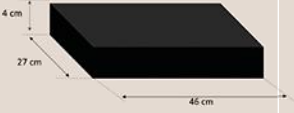
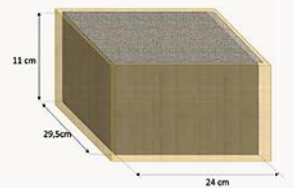
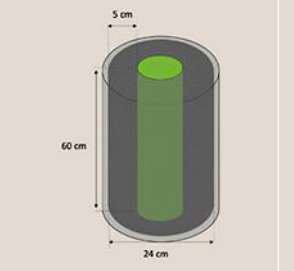
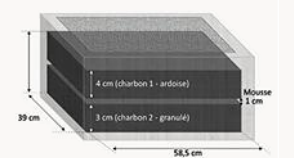
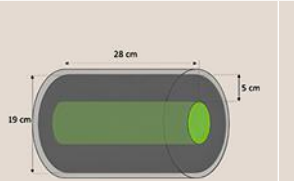
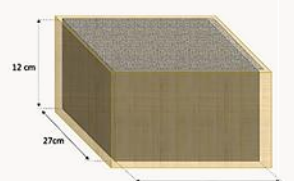
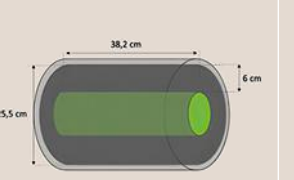
Traitement des données

L'indice calculé pour juger de l'étanchéité du caisson est E, défini comme :

$$E (\%) = \left(1 - \frac{\text{concentration moyenne gaz test en aval}}{\text{concentration moyenne gaz test en amont}} \right) \times 100$$

Cet indice est calculé sur les premières 30 minutes d'exposition du caisson à une concentration donnée de polluant. Il est mesuré dès la stabilisation de la concentration générée en amont et du débit. Pour chaque caisson équipé de sa charge épurante, l'étanchéité a été mesurée vis-à-vis des deux gaz tests choisis.

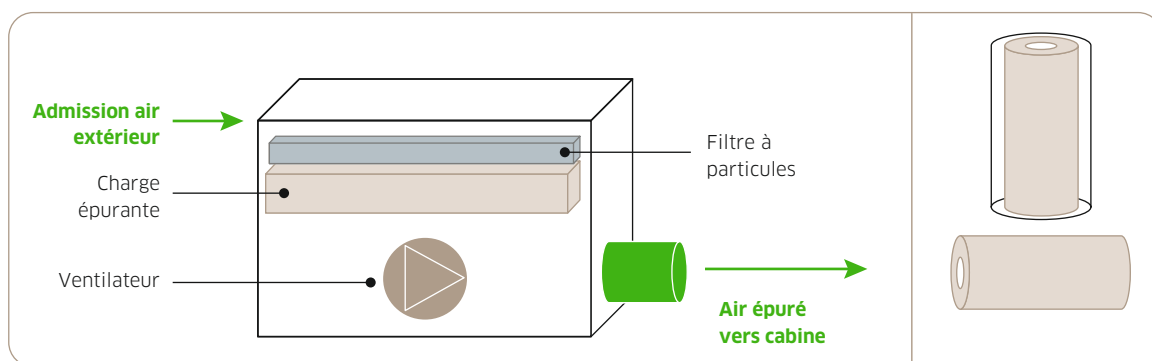
Lors de cette exposition au gaz test, une mesure de la concentration de ce gaz en amont et en aval est réalisée en continu, avant la saturation ou percée (Cf. Encadré 2) de l'étage d'épuration et toute concentration mesurée en aval du caisson d'épuration sera donc due à une fuite. Les fuites de tous les éléments sont ainsi prises en compte : structure, ventilateur,

CAISSON		CARACTÉRISTIQUES DE LA CHARGE ÉPURANTE		
N°	DÉBITS TESTÉS (m ³ .h ⁻¹)	TYPE	DIMENSIONS (L x l x h)	MASSE (kg)
1	40 à 120	AK BK		8,0
2	40 à 100	K		3,6
3	40	ABEK K		4,6
4	40 à 120	ABEK AK		10,0
5	40 à 80	AK		11,6
6	40 à 70	Ammoniac ABEK		3,3
7	40 à 80	AK		6,4
8	55	K		9,0

↑ TABLEAU 1 Caractéristiques des caissons et charges épurantes étudiés.



FIGURE 2 →
Schéma de principe d'un caisson avec charge plane et charge annulaire. Le caisson comprend un filtre à particules et une charge épurante pour les gaz, ainsi qu'un ventilateur. L'air extérieur est épuré puis introduit dans la cabine.



ENCADRÉ 1 CLASSIFICATION DES ADSORBANTS

Une combinaison des différents adsorbants peut être proposée. Par exemple, afin d'épurer un air contenant des composés organiques avec un point d'ébullition supérieur à 65°C et de l'ammoniac, une charge d'adsorbant *a minima* AK sera nécessaire. Pour une atmosphère complexe avec plusieurs polluants, une charge polyvalente ABEK sera adaptée. L'appellation utilisée reprend les types par ordre alphabétique : AB, ABEK, ABE, AK...

Codification des types d'adsorbants : Source NF EN 14387 [4].

TYPE	DOMAINE D'UTILISATION
A	Produits organiques dont le point d'ébullition est supérieur à 65°C
B	Gaz et vapeurs inorganiques (chlore, sulfure d'hydrogène...), sauf le monoxyde de carbone
E	Dioxyde de soufre et autres gaz et vapeurs acides (par exemple, le chlorure d'hydrogène)
K	Ammoniac et dérivés organiques aminés
AX	Produits organiques dont le point d'ébullition est inférieur à 65°C

↑ Classification des adsorbants.

joints, malfunctions de l'étage d'épuration (passages préférentiels). Cette mesure permet d'évaluer l'étanchéité globale du système vis-à-vis des gaz. Cette méthodologie est transposable à l'ensemble des polluants gazeux.

Résultats et discussions

La Figure 4 présente les résultats des mesures de concentrations en aval de trois systèmes épurants complets (caisson, filtre à particules et charge épurante vierge). Ces mesures concernent une exposition à 1 000 ppm_v d'ammoniac. Les étanchéités peuvent être obtenues sur la première partie de la courbe, dès stabilisation de la concentration en amont. Ainsi, le caisson n° 8, avec une charge épurante de type K, présente une étanchéité de 100 %,

tandis que le caisson n° 4, avec sa charge épurante de type AK, montre une étanchéité de l'ordre de 80 %. La Figure 4 montre que cette diminution d'étanchéité est due à des fuites et non pas à un défaut de qualité d'adsorption du médium, car la percée est clairement visible au bout de 3h30, après un palier à 200 ppm_v. Les fuites peuvent provenir de défauts d'étanchéité entre le caisson et la charge épurante ou de passages préférentiels au sein du lit d'adsorbant, si celui-ci est mal tassé. Le cas du caisson n° 7 est typique d'une charge épurante de mauvaise conception, présentant une percée filante et quasi immédiate. L'adsorbant utilisé n'est pas adapté, ou en trop faible quantité. Ce type de résultat ne permet pas de définir une valeur d'étanchéité. L'ensemble des étanchéités des caissons avec leurs charges a été mesuré pour l'ammoniac et les résultats sont résumés dans le Tableau 2.

Les étanchéités calculées après mesure montrent que la majorité des caissons présente une étanchéité supérieure à environ 98 %. Certains caissons (nos 3, 4 et 7) offrent des étanchéités non satisfaisantes, d'autant qu'il s'agit ici de caissons neufs, n'ayant subi aucune vibration, ni aucun choc.

Pour illustration, des mesures de l'INRS réalisées sur des sites de méthanisation ont mis en évidence des concentrations extérieures en ammoniac de l'ordre de 100 ppm_v [6]. Une étanchéité de 92 % (caisson n° 3) se traduirait par l'admission d'un air neuf contenant 8 ppm_v d'ammoniac, ce qui est très proche de la VLEP-8h pour l'ammoniac (actuellement, de 10 ppm_v) [7].

La mesure d'étanchéité déterminée avec l'ammoniac impose cependant certaines contraintes expérimentales du fait de la toxicité de NH₃, contraintes qui peuvent être réduites en lui substituant un autre gaz test. Le gaz test de substitution (gaz traceur) doit répondre à différents paramètres :

- la toxicité du gaz utilisé doit être la plus faible possible ;
- le produit utilisé doit être suffisamment adsorbable par tout type d'adsorbant et facilement mesurable en temps réel.

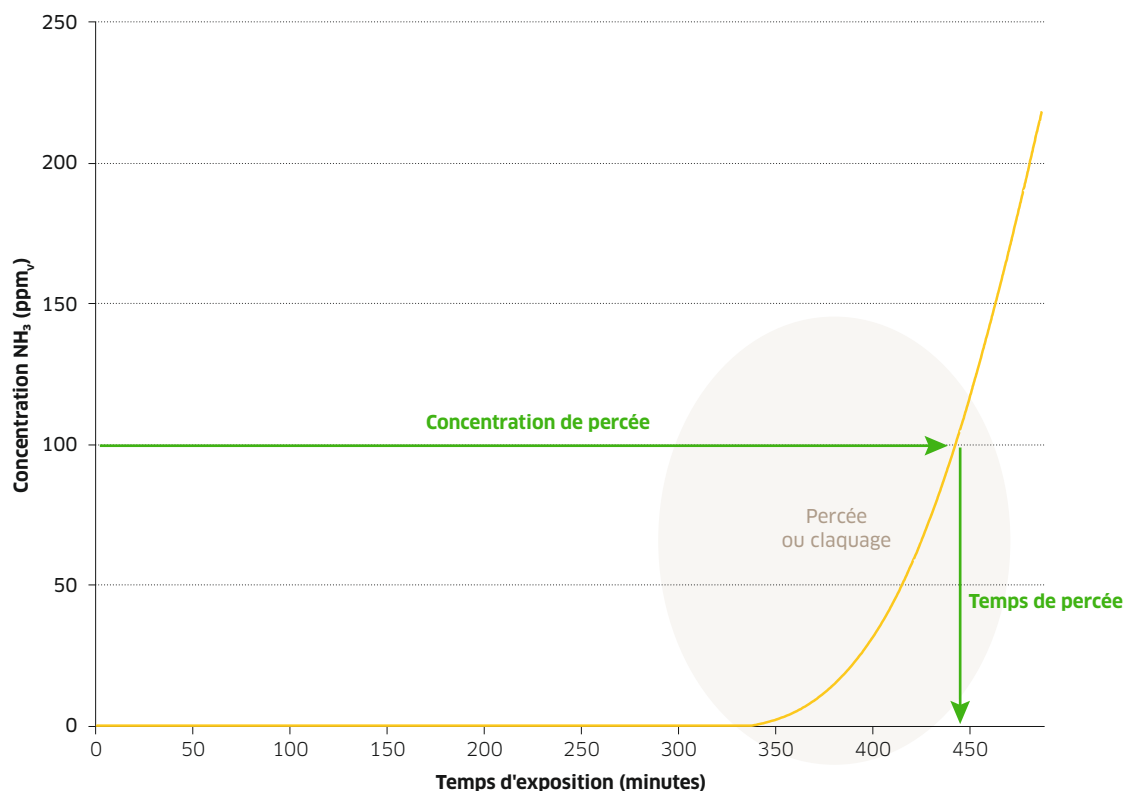
Certains paramètres opératoires doivent également être considérés, car la mesure d'étanchéité

ENCADRÉ 2

« CLAQUAGE », « PERCÉE » OU SATURATION : DURÉE DE VIE DES MÉDIAS ADSORBANTS

Un système d'épuration antigaz protégeant l'habitacle d'un engin d'une pollution extérieure sous forme gazeuse contient un médium adsorbant qui est généralement composé de charbon actif. Exposé à une pollution gazeuse, il doit être changé avant d'atteindre sa saturation complète appelée « claquage » ou « percée ». Le temps nécessaire pour atteindre la saturation est appelé « temps de claquage » ou « temps de percée » et détermine la durée de vie du média adsorbant. Il dépend des caractéristiques physicochimiques et de la masse d'adsorbant contenue dans le média, des conditions environnementales (température, hygrométrie, concentrations et nature des polluants) et des conditions d'utilisation (débit de l'air à épurer, séquences de fonctionnement). Il n'existe actuellement pas de méthode disponible permettant de prédire la durée de vie d'un système d'épuration par adsorption à l'instar des outils existant pour les cartouches équipant les appareils de protection respiratoire (Prémédia¹).

1. Le logiciel Prémédia a été développé par l'INRS pour la prédiction de la durée d'utilisation d'une cartouche d'appareil de protection respiratoire (APR). L'outil de calcul prédictif permet d'estimer le temps d'utilisation des cartouches d'APR en fonction des conditions rencontrées et spécifiées par l'utilisateur [5].



↑ Illustration de courbe de percée ou claquage. Suivi en temps réel de la concentration en aval d'une charge épurante soumise à un air pollué à 1000 ppm_v de NH₃. L'exemple montre ici la détermination du temps de percée pour une concentration de percée de 10 % de la valeur en amont (source : brochure ED 6228 [1]).

aux gaz nécessite de réaliser les mesures bien avant la percée de la charge adsorbante. Le flux de polluant doit donc être minimisé. Cela peut être réalisé en diminuant la concentration de test, ou en travaillant à plus faible débit.

Le choix du cyclohexane permet de répondre à ces attentes. La concentration peut être diminuée jusqu'à 200 ppm_v (valeur correspondant à la VLEP-8h du cyclohexane [8]). Des tests ont donc été réalisés à l'aide du cyclohexane comme gaz traceur.

Afin de valider l'utilisation d'un gaz traceur autre que

le gaz cible, les résultats des mesures d'étanchéité au cyclohexane sont comparés à ceux obtenus avec l'ammoniac aux mêmes débits dans le *Tableau 3*.

L'objectif est ici de tester l'étanchéité du couple caisson/charge et il faut donc que le gaz traceur soit adsorbé par le médium présent dans la charge. Les résultats montrent que le gaz traceur répond à ce critère, dans le cas de charges épurantes répondant à la classification des cartouches APR. Pour le caisson n° 6, avec une charge de dénomination « Ammoniac », il apparaît que le gaz traceur



FIGURE 3 →
 Banc de test pour l'évaluation des caissons complets. Le caisson complet équipé de ses éléments filtrants et de sa charge épurante est placé dans une enceinte d'essai étanche et est mis en fonctionnement dans une atmosphère polluée en ammoniac (NH_3) ou en cyclohexane (C_6H_{12}) à des concentrations réglées. Les concentrations en amont et en aval du système sont suivies en temps réel, afin d'évaluer l'étanchéité du caisson complet. RDM : régulateur de débit massique.

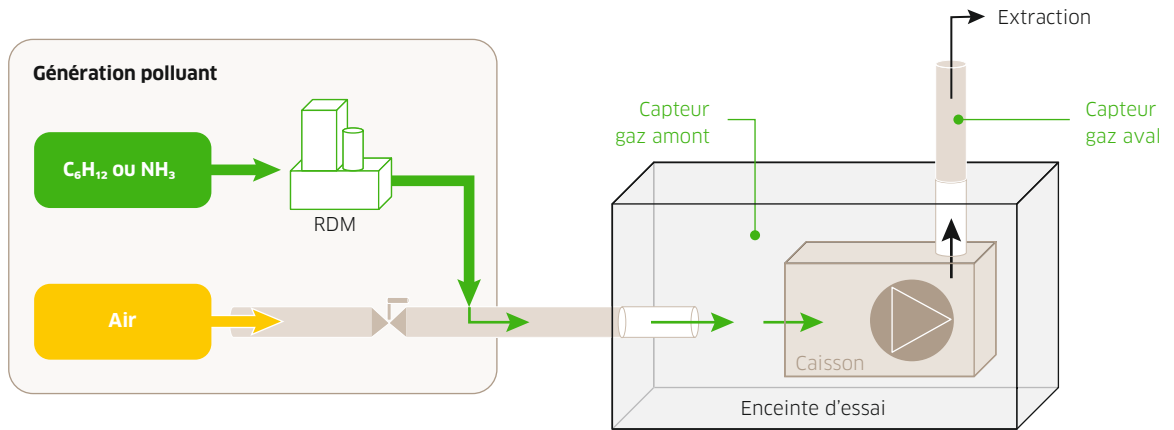
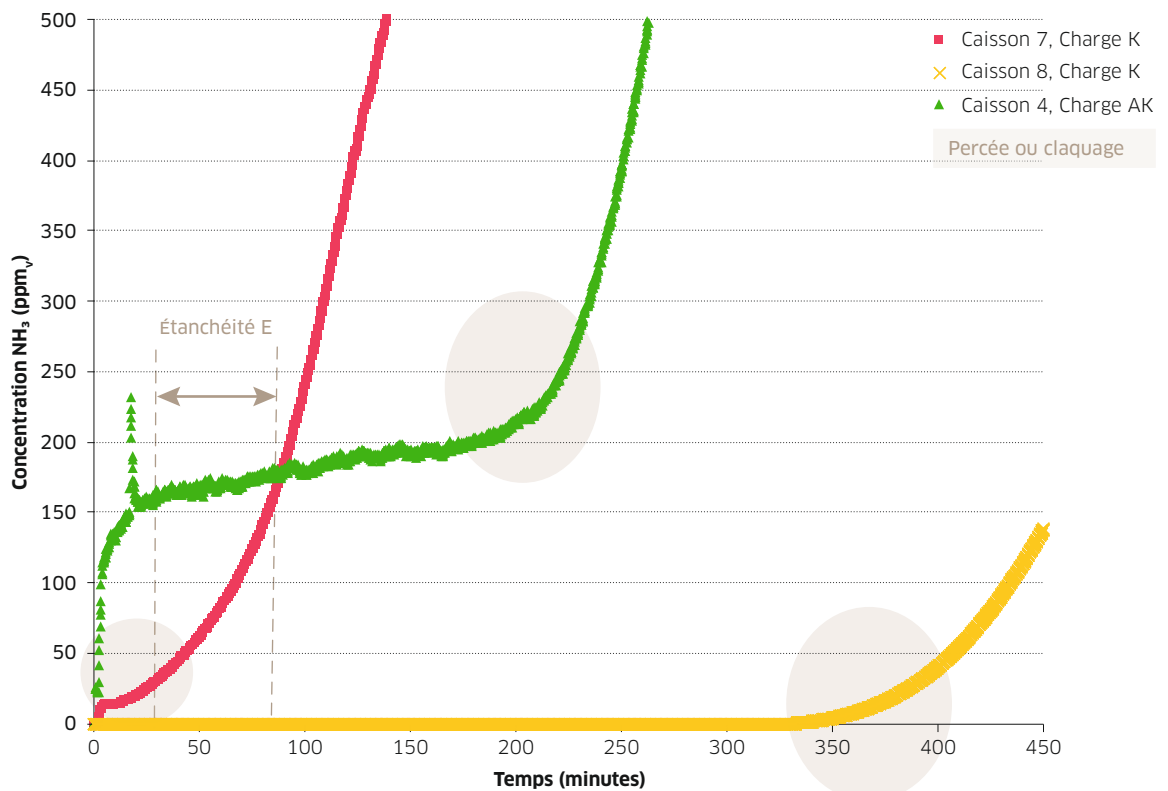


FIGURE 4 →
 Exemple de mesure d'étanchéité et courbe de percée pour trois caissons avec leur charge épurante. L'étanchéité est mesurée après la phase de stabilisation. La percée intervient à des temps très différents selon les caissons et charges considérés.



n'est pas piégé par l'adsorbat ici mis en œuvre, et qu'il n'est donc pas possible d'évaluer l'étanchéité du système complet avec le gaz traceur. L'utilisation d'une charge ABEK permet la mesure d'étanchéité avec le gaz traceur. Pour le caisson n° 7, la mesure d'étanchéité avec l'ammoniac n'est pas exploitable directement car la charge épurante présente un début de saturation (percée). L'utilisation du gaz traceur à faible concentration permet de réaliser cette mesure en travaillant avant la percée. Afin de définir la valeur du débit minimal envisageable pour un test d'étanchéité, des essais avec le gaz traceur (cyclohexane) sur banc ont été menés.

Quatre caissons et cinq charges épurantes ont ainsi été testés à différents débits. Les mesures d'étanchéité ne présentent pas de différences significatives en fonction du débit utilisé. Le protocole proposé pour les essais d'étanchéité avec un gaz traceur pourra donc être un test d'étanchéité au cyclohexane à 200 ppm_v et au débit minimal du caisson. L'application de ce protocole pour l'ensemble des huit caissons avec leurs charges épurantes a été réalisée. Les valeurs obtenues sont comparables à celles présentes dans le *Tableau 3*. Cependant, ce test d'étanchéité ne peut pas à lui

CAISSON	CHARGE	ÉTANCHÉITÉ NH ₃ (%)
Caisson 1	AK	98,7 +/- 1
	BK	96,8 +/- 0,5
Caisson 2	K	99,1 +/- 0,2
Caisson 3	ABEK	93,2 +/- 8,5
	AK	92 +/- 4,1
Caisson 4	ABEK	Percée immédiate
	AK	87,4 +/- 4,1
Caisson 5	AK	99,4 +/- 9,2
Caisson 6	Ammoniac	99,9 +/- 1
	ABEK	99,9 +/- 1
Caisson 7	K	Percée immédiate
Caisson 8	K	100 +/- 0,1

↑ TABLEAU 2 Étanchéité des caissons et des charges épurantes étudiés pour l'ammoniac (NH₃).

CAISSON	CHARGE	ÉTANCHÉITÉ NH ₃ (%)	ÉTANCHÉITÉ C ₆ H ₁₂ (%)
Caisson 1	AK	98,7 +/- 1	99,1 +/- 3,9
	BK	96,8 +/- 0,5	99 +/- 2,1
Caisson 2	K	99,1 +/- 0,2	99,8 +/- 0,1
	K	98,9 +/- 1,1	99 +/- 1,1
Caisson 3	ABEK	93,2 +/- 8,5	90,6 +/- 1,1
Caisson 4	AK	87,4 +/- 4,1	84,1 +/- 1,9
Caisson 5	AK	99,4 +/- 9,2	99,9 +/- 3,6
Caisson 6	Ammoniac	99,9 +/- 1	45 +/- 4,1
	ABEK	99,9 +/- 1	99,9 +/- 1
Caisson 7	K	Percée immédiate	97,6 +/- 1
Caisson 8	K	100 +/- 0,1	100 +/- 0,2

↑ TABLEAU 3 Comparaison des étanchéités des caissons et des charges épurantes, étudiés pour l'ammoniac et le cyclohexane C₆H₁₂ (aux mêmes débits).

Étanchéité satisfaisante / Étanchéité insuffisante / Étanchéité très insuffisante. La normalisation actuelle ne fixe pas de seuil de classification.

seul définir si un caisson permet d'apporter une protection suffisante au conducteur. La seconde composante à évaluer est la capacité d'adsorption de l'étage d'épuration face au gaz cible, autrement dit, la quantité de molécules gazeuses piégées. Ceci est illustré avec le cas du caisson n° 7, qui présente une bonne étanchéité face au gaz traceur mais une capacité insuffisante pour l'ammoniac, ce qui se traduit par une saturation (percée) immédiate.

Conclusion

L'étanchéité de huit modèles commerciaux de caissons a été évaluée pour l'épuration de l'ammoniac. Un protocole expérimental avec un gaz traceur a pu être proposé en vue d'enrichir les travaux de normalisation en cours¹. Ce protocole permettra de simplifier les essais nécessaires à cette évaluation. Ainsi, une exposition à 200 ppm_v de cyclohexane au débit minimal du caisson équipé de sa charge épurante permettra de définir l'étanchéité globale de la majorité des systèmes commercialisés. Pour rappel, l'étanchéité n'est pas la seule composante à évaluer pour la protection de l'opérateur. La capacité de la charge épurante est aussi à considérer. En résumé, la mesure d'étanchéité d'un système d'épuration utilisant l'adsorption comme technique séparative devra toujours s'accompagner d'une évaluation de la capacité de l'étage d'épuration.

La norme en cours de rédaction reprendra ces deux paramètres et fixera des exigences pour l'étanchéité et la capacité.

La détermination de cette capacité d'épuration est complexe. Comme cela a été montré *via* les travaux scientifiques afférents aux APR, des paramètres comme la nature du polluant, sa concentration, la température ou l'humidité peuvent avoir une



Pelleteuse équipée d'une flèche de déconstruction sur un chantier de démolition. Sa cabine est pressurisée, permettant au conducteur de l'engin de ne pas être exposé aux poussières.

© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2020

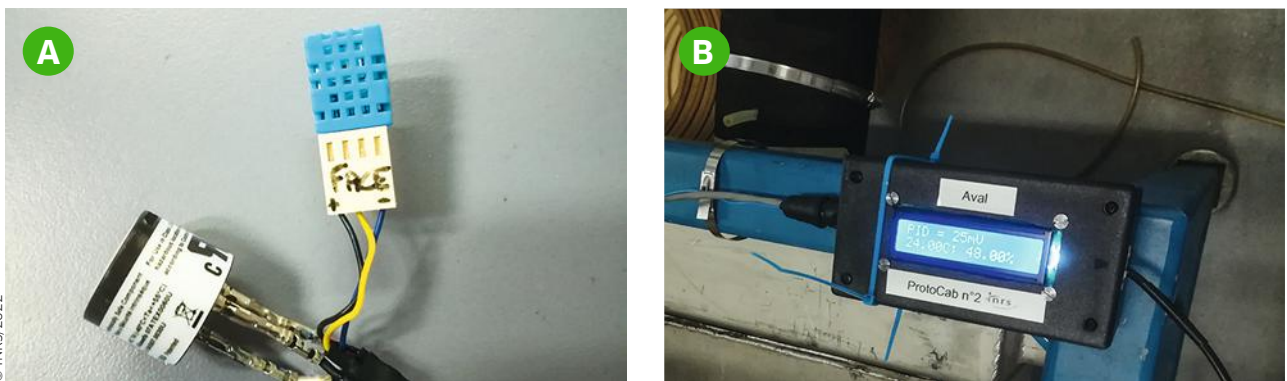


ENCADRÉ 3 DÉTECTION EN TEMPS RÉEL DE LA PERCÉE DE LA CHARGE ÉPURANTE

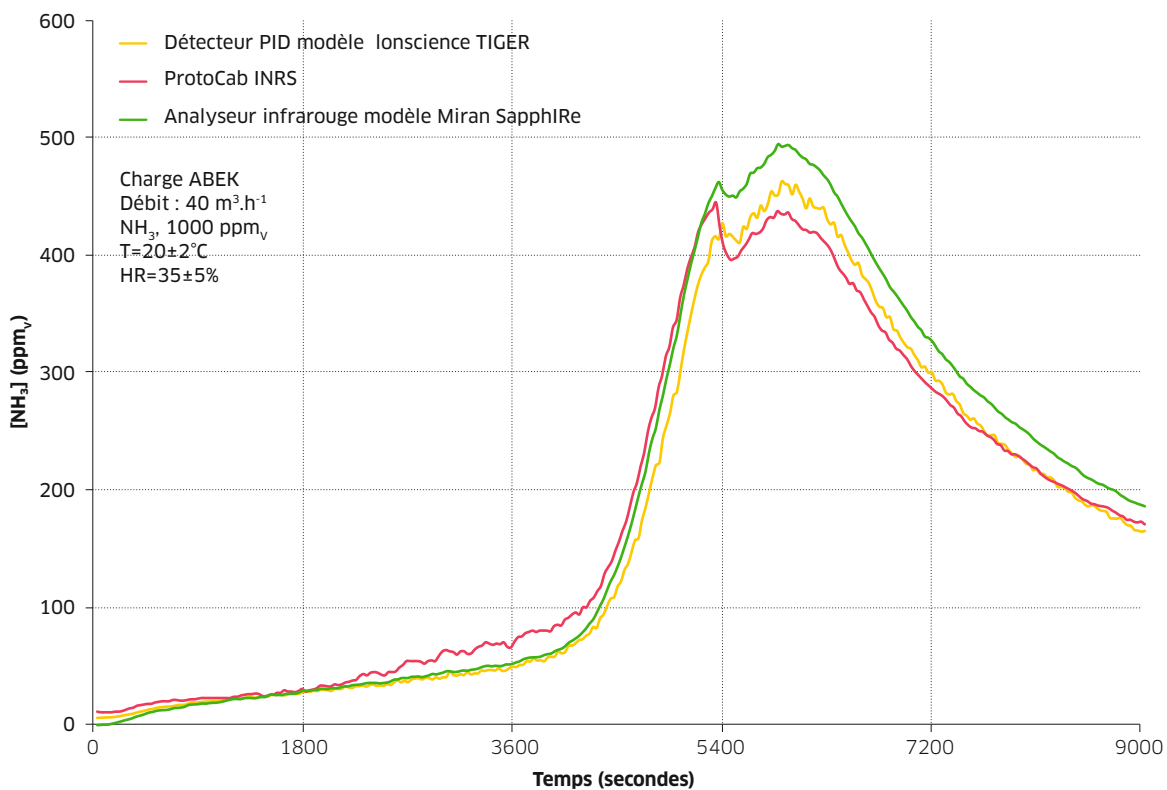
Une solution technique pour garantir la qualité de l'air apporté au conducteur de l'engin est d'implanter dans le flux entrant dans la cabine, en aval de la charge épurante, un capteur de gaz temps réel.

Un tel dispositif permet de contrôler en continu la qualité de l'air introduit. Il peut détecter une mauvaise étanchéité du couple caisson/charge et aussi mesurer la capacité d'épuration de la charge en temps réel. Dans le cadre de l'étude, l'INRS a développé un démonstrateur dénommé ProtoCab et basé sur un capteur à photo-ionisation (PID). Ce type de capteur est sensible à un large éventail de polluants comprenant notamment les vapeurs organiques (COV) et plusieurs gaz inorganiques comme l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène ou encore les oxydes d'azote. Robuste, ce capteur délivre un signal proportionnel à la concentration des polluants gazeux précités, sans cependant pouvoir les discriminer les uns des autres.

Le démonstrateur est composé d'un boîtier de contrôle avec afficheur d'une part, et d'un capteur PID avec un capteur de température et d'hygrométrie déportés, d'autre part (Cf. Figure 5).



↑ FIGURE 5 Démonstrateur ProtoCab développé par l'INRS. Les capteurs de gaz et de température (A) sont déportés du boîtier de contrôle (B), afin d'être positionnés en aval de la charge d'épuration, directement dans le flux d'air.



↑ FIGURE 6 Exemple de suivi en temps réel de la concentration en ammoniac NH₃ en aval d'une charge de type ABEK évaluée au cours de l'étude. Trois systèmes de mesure de l'ammoniac sont mis en œuvre : un analyseur de type infrarouge, un détecteur à photo-ionisation, et le démonstrateur INRS. Ce graphique permet d'illustrer les performances du démonstrateur INRS, qui est aussi sensible et rapide que les autres systèmes de mesure.

influence importante sur cette capacité. Des essais en laboratoire sont indispensables pour l'évaluer. Ils peuvent être couplés avec des modèles semi-empiriques tels que celui utilisé dans l'outil Prémédia [5] pour les APR pour tenir compte de ces paramètres. Une autre voie d'approche pour la connaissance de la capacité de protection offerte par le caisson d'épuration consiste à intégrer un dispositif de mesure en temps réel (Cf. Encadré 3).

Le démonstrateur a été déployé lors des essais de qualification de l'étanchéité d'épuration des caissons, en parallèle de deux systèmes analytiques de référence, un analyseur infrarouge (Miran SapphIRe) et un détecteur portable à photo-ionisation (Ionscience Tiger). Le démonstrateur, dont le coût est de quelques centaines d'euros, a toujours fourni une information en adéquation avec les analyseurs de référence (Cf. Figure 6), et a ainsi permis de détecter en temps réel la saturation de la charge épurante.

L'intégration d'un tel dispositif aux cabines d'engin ou aux caissons d'épuration est techniquement envisageable, mais des points restent à préciser : *quid* de la robustesse ou durée de vie des capteurs vis-à-vis des chocs et des vibrations ressentis sur un engin en évolution ; et *quid* de la méthodologie de vérification périodique du capteur de gaz, afin de garantir son étanchéité de détection ? Des travaux complémentaires permettraient peut-être de préciser ces points. ●

1. Les travaux de normalisation sur ce sujet se tiennent actuellement au CEN (Comité européen de normalisation), dans le comité technique CEN TC 151. Le titre (provisoire) du projet (en anglais) est : Earth-moving machinery – Safety – Contamination protective systems (réf. CEN TC 151 WI 00151491).

POUR EN SAVOIR +

- INRS – *Les appareils de protection respiratoire – Choix et utilisation*. ED 6106, 2019. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206106>
- INRS – *Présentation de l'outil Prémédia*. Accessible sur : <https://premedia.inrs.fr/Premedia/jsp/Accueil.jsp>

Opération de transfert de compost par une chargeuse équipée d'un caisson filtrant pour assainir l'air de la cabine.



© Philippe Castano pour l'INRS/2013

BIBLIOGRAPHIE

[1] INRS – *Assainissement de l'air des cabines d'engins mobiles*. ED 6228, 2015. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206228>.

[2] NORMES NF EN 12941 ET 12942 – *Appareils de protection respiratoire*. NF EN 12941 – *Appareils filtrants à ventilation assistée avec casque ou cagoule. Exigences, essais, marquage*. NF EN 12942 – *Appareils filtrants à ventilation assistée avec masques complets, demi-masques ou quarts de masques. Exigences, essais, marquage*. Afnor, 1998. Accessibles sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[3] NORME NF EN 15695, PARTIES -1 ET -2 – *Tracteurs agricoles et pulvérisateurs automoteurs. Protection de l'opérateur (conducteur*

contre les substances dangereuses. Partie 1 : classification des cabines, exigences et méthodes d'essais. Partie 2 : filtres, exigences et méthodes d'essai. Afnor, 2017. Accessibles sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[4] NORME NF EN 14387 – *Appareils de protection respiratoire. Filtres anti-gaz et filtres combinés. Exigences, essais, marquage*. Afnor, 2021. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[5] INRS – *Outil (logiciel) n°41 – Prémédia*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil41>.

[6] DIRRENBERGER P. ET AL. – *Évaluation de l'exposition à l'ammoniac : apport de la détection en temps réel. Hygiène & sécurité du travail*, 2018,

252, NT 65, pp. 66-72. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2065>.

[7] INRS – *Fiche toxicologique n° FT 16 – Ammoniac*. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_16.

[8] INRS – *Fiche toxicologique n° FT 17 – Cyclohexane*. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_17.