

Étude de cas

MANIPULATION DE CARBOGLACE: MESURE DE L'EXPOSITION INDIVIDUELLE AU CO₂ À L'AIDE DE DÉTECTEURS À LECTURE DIRECTE

BRUNO
GALLAND,
KARINE
GÉRARDIN,
NATHALIE
MONTA
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

SUZANNE
CHEVALLIER,
MOHAMED
JARRAYA
Banque
de tissus
humains,
hôpital
Saint-Louis

→ **LA PROBLÉMATIQUE:** Dans le cadre de son activité, la Banque de tissus humains de l'hôpital Saint-Louis de Paris (BTH) conditionne les greffons à usage thérapeutique, dans des colis réfrigérés, à l'aide de bâtonnets de glace carbonique livrés quotidiennement, à raison de 30 à 120 kg. La sublimation de cette carboglace conduit à enrichir fortement l'atmosphère des locaux de travail en dioxyde de carbone gazeux (Cf. Encadré 1), ce qui entraîne une potentielle exposition respiratoire des opérateurs au sein du service. Les postes de travail directement liés à la manipulation ou au stockage de la carboglace ne comportent ni système de captage, ni système d'extraction de l'air pollué. À ce jour, il n'existe pas de solution technique satisfaisante pour remplacer l'usage de la glace carbonique pour cette activité.

La mesure individuelle de la concentration en CO₂ inhalée par un opérateur n'est pas réalisable par une méthode à lecture indirecte et le CO₂ ne fait l'objet d'aucune fiche MétroPol¹.

Selon le médecin du travail ayant sollicité l'assistance de l'INRS, le personnel de la BTH rapporte des symptômes pouvant être liés à l'inhalation de CO₂: maux de tête, sensation de fatigue, picotements de la langue. La BTH a donc sollicité l'INRS pour objectiver l'exposition individuelle des opérateurs à l'aide de détecteurs temps réel à lecture directe, pour étudier les sources de pollution et proposer des solutions de prévention, afin d'améliorer les conditions de travail des opérateurs.

→ LA RÉPONSE DE L'INRS

Le recours à des détecteurs individuels à lecture directe, ou détecteurs temps réel (DTR) pour la qualification de l'exposition individuelle, est une option qui permet de visualiser instantanément

la concentration du polluant recherché et par conséquent d'identifier les opérations les plus exposantes. Cependant, ces appareils peuvent présenter plusieurs inconvénients comme le manque de sélectivité, de sensibilité, ou encore une exactitude de la mesure dépendant de l'état de l'instrument.

L'INRS a choisi, pour cette intervention, de déployer plusieurs DTR à technologie infrarouge, après avoir vérifié que l'atmosphère des locaux de la BTH ne contenait pas de substance pouvant interférer dans la mesure. Préalablement au déploiement, les appareils ont fait l'objet d'un calibrage et de plusieurs étalonnages dans une enceinte de génération, pour qualifier leurs performances métrologiques. Après la campagne de mesures de trois jours et demi, les DTR ont à nouveau été étalonnés en laboratoire pour valider les mesures d'exposition individuelle obtenues lors de la campagne.

En parallèle à la mesure de l'exposition individuelle, des DTR ont aussi été positionnés à poste fixe pour la surveillance des niveaux de CO₂ à des endroits stratégiques, comme par exemple la salle de stockage des cartons réfrigérés en attente d'expédition vers les services hospitaliers demandeurs.

Les détecteurs temps réel (DTR): évaluation des performances en laboratoire avant et après la campagne de mesures

Le choix des DTR s'est porté sur des modèles ToxiRAEPro CO₂[®] (marque RAE). L'encombrement réduit de ces détecteurs individuels passifs (masse de 220 g et volume de l'ordre de 0,2 dm³), permet de les accrocher à la poche de poitrine de la blouse des opérateurs de la BTH (Cf. Figure 1).

ENCADRÉ TOXICITÉ DU CO₂

Le dioxyde de carbone est, dans l'ordre décroissant des concentrations en volume, le quatrième gaz qui compose notre atmosphère: sa concentration moyenne dans l'air est de l'ordre de 400 ppm_v². Cette substance, gazeuse dans les conditions normales de température et de pression³, est émise naturellement lors de la décomposition de matières organiques et la respiration des organismes vivants. Les émissions d'origine anthropique sont imputables majoritairement à l'utilisation de combustibles fossiles. Une des principales applications du CO₂ est son utilisation par l'industrie pour produire du froid, sous la forme d'un fluide frigorigène, ou sous la forme d'une glace solide, dénommée carboglace ou glace carbonique. Pour ce dernier cas, à une température de -78 °C et à pression ambiante, le dioxyde de carbone se présente sous sa forme

solide (glace carbonique ou « carboglace »). En se réchauffant, cette glace se sublime et produit un dégagement de CO₂ gazeux, incolore et inodore³.

Si ses propriétés asphyxiantes, par déplacement de l'oxygène ambiant, sont reconnues, il n'est pas rare de mésestimer la toxicité propre de ce gaz. Les *Tableau 1* et *Tableau 2* précisent les effets d'une exposition au CO₂ gazeux en fonction de la concentration dans l'atmosphère. Ainsi, une atmosphère enrichie en CO₂, par exemple lors de la sublimation de glace carbonique, jusqu'à atteindre une concentration de 10%_v² de CO₂, contiendra encore 19%_v d'oxygène; pourtant, la présence d'une telle concentration de CO₂ pourra entraîner la perte de connaissance de certains opérateurs. Ainsi, un simple détecteur d'oxygène (O₂) dont l'alarme serait réglée sur 19%_v de O₂ ne permet pas de garantir la sécurité

des opérateurs vis-à-vis du CO₂, situation pourtant encore rencontrée dans certains secteurs d'activité, comme le milieu hospitalier ou bien la logistique de la carboglace. Le dioxyde de carbone gazeux possède une valeur limite d'exposition professionnelle sur la durée d'un poste de travail de 8 heures (VLEP-8h) réglementaire indicative de 5000 ppm_v, ce qui représente 0,5%_v⁴(ou 9000 mg.m⁻³). **Il n'a pas été défini de valeur limite d'exposition professionnelle court terme (VLEP-CT) pour ce polluant.**

1. *MétoPol* est le recueil des méthodes d'évaluation de l'exposition professionnelle validées par l'INRS, pour le prélèvement et l'analyse d'agents chimiques et biologiques déposés sur les surfaces ou présents dans l'air et dans certains matériaux (Cf. Pour en savoir plus).

2. ppm_v: partie par million volumique.
%_v: pourcentage en volume.

3. Conditions normales de température et de pression = 0 °C (273 K) et 101,325 kPa.

4. 1%_v = 10000 ppm_v.

CONCENTRATION EN CO ₂ DANS L'ATMOSPHÈRE (% _v)	MANIFESTATIONS PHYSIOLOGIQUES
< 1	Variations non significatives des paramètres biologiques.
1	Augmentation de la pression de CO ₂ artérielle, ainsi que de la pression partielle en oxygène, en raison d'une hyperventilation.
2	Accentuation de l'augmentation de la pression partielle de CO ₂ dans le sang artériel et l'air expiré.
3	Hyperventilation marquée et baisse du pH artériel (acidose respiratoire).
4	Apparition de céphalées et de gastralgies au repos, d'asthénie et d'extrasystoles à l'effort. Augmentation du nombre d'hématies.

↑ TABLEAU 1 Toxicité chronique du CO₂ gazeux (source: fiche toxicologique n°238 de l'INRS; Cf. Pour en savoir plus).

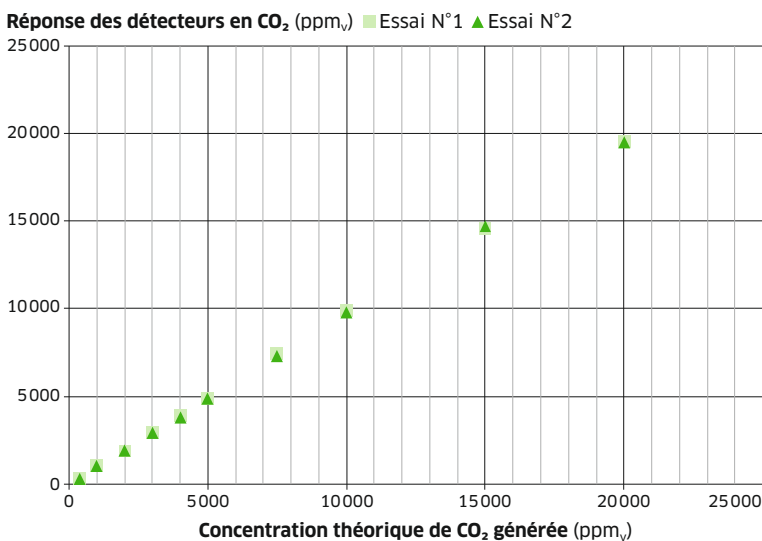
CONCENTRATION EN CO ₂ DANS L'ATMOSPHÈRE (% _v)	MANIFESTATIONS PHYSIOLOGIQUES
2	Augmentation de l'amplitude respiratoire.
4	Accélération de la fréquence respiratoire et difficulté à respirer chez certains sujets.
5	Céphalées, sensation de vertige, premiers effets cardiovasculaires et vasomoteurs (augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle, vasodilatation périphérique).
10	Troubles visuels (parfois associés à une dégénérescence rétinienne), tremblements, hypersudation et hypertension artérielle avec perte de connaissance, chez certains sujets, si l'exposition dure une dizaine de minutes.
20	Dépression respiratoire, convulsions, coma et mort.

↑ TABLEAU 2 Toxicité aiguë du CO₂ gazeux (source: fiche toxicologique n°238 de l'INRS).





↑ FIGURE 1 Détecteur individuel passif ToxiRAE Pro CO₂ accroché à la poche de poitrine de la blouse des opérateurs de la BTH.



↑ FIGURE 2 Exemple de courbes d'étalonnage obtenues pour le détecteur DTR CO₂ n°01 avant l'intervention. Ce tracé met en évidence la réponse linéaire de l'appareil en fonction des concentrations de CO₂ générées, et aussi une très bonne répétabilité.

	AVANT CAMPAGNE		APRÈS CAMPAGNE		Variations
	Pente	R ²	Pente	R ²	
DTR CO ₂ n° 01	0,9779	1,0000	1,0171	0,9998	+ 4,0%
DTR CO ₂ n° 02	0,9866	0,9999	0,9761	0,9999	- 1,1%
DTR CO ₂ n° 03	0,9861	0,9999	0,9935	0,9999	+ 0,7%

↑ TABLEAU 3 Réponse moyenne (pente et coefficient R² de régression linéaire selon la méthode des moindres carrés) de chaque DTR, avant et après la campagne de mesures à la BTH.

Ces appareils possèdent un capteur de type infra-rouge, calé sur une longueur d'onde d'absorption du CO₂, garantissant par conception une bonne sélectivité pour la mesure de CO₂. La gamme de mesures est de [0-50000 ppm_v] et la résolution de 100 ppm_v. De plus, il a été vérifié qu'aucune autre substance chimique n'est présente, à des concentrations supérieures à la ppm_v, dans l'atmosphère des pièces où sont conditionnés ou stockés les colis de tissus humains. Tout effet d'interférence sur les détecteurs est donc à exclure. L'autonomie de ces DTR est de l'ordre d'une dizaine d'heures et l'enregistreur interne est configuré pour mémoriser les valeurs minimales, moyennes et maximales sur une période d'une minute.

Préalablement à la campagne, chaque DTR a été vérifié à l'aide de deux bouteilles étalon de CO₂, la première d'une concentration de 1 000 ppm_v et la seconde de 5000 ppm_v. Si la réponse des détecteurs diffère de plus de 200 ppm_v, un calibrage est effectué avec une bouteille d'azote pur pour le réglage du zéro et la bouteille de 5000 ppm_v de CO₂ pour le réglage de la sensibilité.

Afin de valider les performances des DTR, des générations de CO₂ sont réalisées dans une enceinte de test de 42,5 dm³ étanche, dans laquelle peuvent être introduites des quantités connues de polluants liquides ou gazeux *via* un septum. Ces essais permettent de valider les performances des trois appareils déployés et conduisent à des résultats similaires aux tracés de la Figure 2.

Chaque essai a prouvé la réponse linéaire des trois DTR lors d'exposition à des concentrations de CO₂ variant entre 1000 et 20000 ppm_v. Les écarts entre chaque essai sont inférieurs à deux fois la résolution des appareils, ce qui démontre une bonne reproductibilité des mesures.

Les synthèses de ces étalonnages sont présentées dans le Tableau 3. Les pentes moyennes des droites de régression, définies selon la méthode des moindres carrés, sont proches de l'unité, démontrant une exactitude de mesure meilleure que 2% sur la gamme de concentration en CO₂ de 0 à 20 000 ppm_v. Les étalonnages réalisés avant et après la campagne montrent un écart de la réponse au maximum de 4,0% pour l'appareil porté par l'un des opérateurs en charge de la confection et gestion des colis, « Op n° 1 », de -1,1% pour celui porté par le second opérateur, « Op n° 2 » et de +0,7% pour celui utilisé à poste fixe.

Le tableau 3 des résultats montre que les appareils déployés n'ont pas vu leurs performances dégradées lors de la campagne de terrain, ce qui permet de valider les résultats de mesures d'exposition individuelle.

La campagne de mesures au sein de la BTH

Les opérateurs suivis, équipés d'un DTR, avaient pour tâche principale de sélectionner le griffon

adéquat, de le récupérer dans le congélateur à -80°C , puis de confectionner le colis avec de la carboglace et de préparer les documents d'accompagnement. Ces deux dernières tâches sont effectuées dans le local de 30 m^3 . L'opération de colisage avec manipulation de carboglace dure approximativement une heure et demie chaque matin.

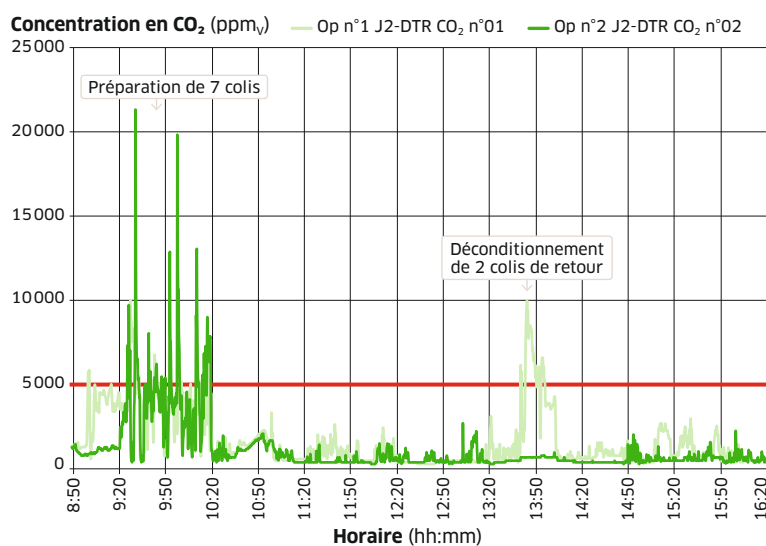
Une étude gravimétrique expérimentale conduite par la BTH a établi que, par heure, un carton libérait 400 g de CO_2 sous forme gazeuse. En posant l'hypothèse d'un seul carton déposé dans le local de préparation de 30 m^3 , au bout d'une heure, si le local était maintenu clos, la concentration en CO_2 serait de l'ordre de 150% de la VLEP-8h. Ce local est, dans la réalité, ouvert sur les autres pièces de la BTH, ce qui conduit à limiter la concentration de CO_2 .

Sur les trois jours de la campagne de mesure, la quantité de carboglace a été de 100 kg la première journée, 120 kg la deuxième et 80 kg la dernière. Le tracé de la Figure 3 illustre les profils types d'exposition des deux opérateurs sur l'intégralité de leur poste de travail.

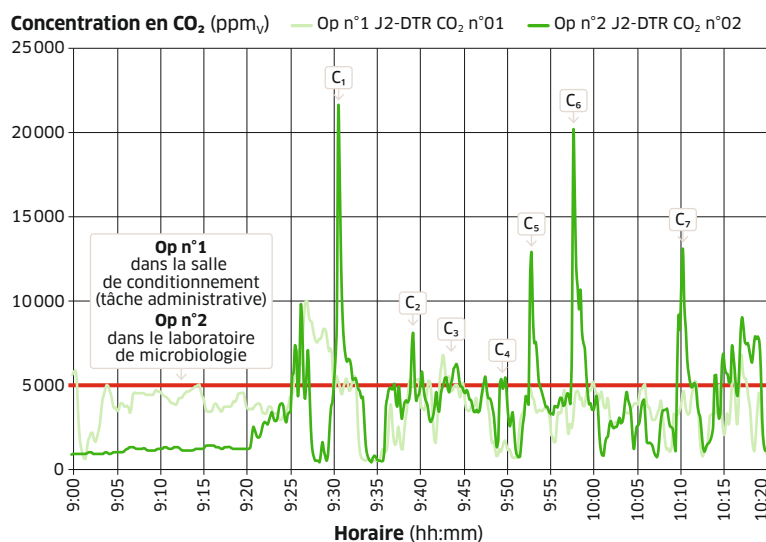
La Figure 3 met en évidence la présence de nombreux pics d'exposition au CO_2 principalement répartis sur deux périodes de la journée. La première, le matin pendant la phase de colisage, concentre les pics principaux. La seconde, moins intense, concorde avec la phase de retour de colis de tissus humains qui n'ont pas été utilisés par les services hospitaliers et correspond à une période de décolisage et de manipulation de la carboglace. La Figure 4 permet d'apprécier plus en détail les niveaux d'exposition en fonction des tâches réalisées. Ces profils d'exposition individuelle permettent de mettre en évidence des taux de CO_2 importants avec des concentrations instantanées très supérieures à 5000 ppm_v pour la confection de chaque colis effectuée par l'opérateur « Op n°2 » comme le montre la Figure 5.

Les pics pour l'opérateur « Op n°1 » sont moins prononcés, mais présents. À noter qu'au début du poste, avant toute action de colisage, « Op n°1 » est déjà exposé alors qu'il traite l'aspect administratif des envois sur un poste informatique situé dans le local de conditionnement (Cf. Figure 6) où ont lieu les opérations de colisage et de décolisage. Cette exposition est imputable au chariot sur lequel sont stockés dix cartons de carboglace livrés plus tôt dans la matinée (Cf. Figure 7). La concentration dans le local est déjà de l'ordre de 4000 ppm_v , sans manipulation de la carboglace. Les principaux résultats de l'exposition individuelle des opérateurs sont précisés dans le Tableau 4.

Considérant l'ensemble des mesures réalisées sur les deux opérateurs durant les trois jours de la campagne, l'exposition moyenne lors du poste de colisage est de 3763 ppm_v , soit 75% de la VLEP-8h.



↑ FIGURE 3 Profils d'exposition des deux opérateurs durant la journée J2. Deux périodes sont remarquables en termes d'exposition : celle du matin correspondant aux actions de colisage et celle du début d'après-midi correspondant à une action de décolisage (retour de deux cartons de tissus humains non utilisés). La ligne horizontale de 5000 ppm_v de CO_2 correspond à la VLEP-8h.



↑ FIGURE 4 Profils d'exposition individuelle lors des opérations de colisage durant la journée J2. Sont précisés sur le graphe les moments de réalisation de chacun des sept colis, notés C_1 à C_7 . La ligne horizontale de 5000 ppm_v de CO_2 correspond à la VLEP-8h.

À noter que l'exposition au CO_2 est liée non seulement aux actions de manipulation de la carboglace mais aussi à la durée de présence dans le local de conditionnement des colis. Ainsi, quel que soit l'opérateur qui manipule la carboglace, « Op n°2 » pour J2 et « Op n°1 » pour J3 et J4, les moyennes d'exposition des deux opérateurs agissant dans le local sont très proches lors de l'opération de colisage. De plus, l'exposition de l'opérateur ne manipulant pas directement la carboglace est inférieure de seulement 12% à celle de son homologue. Sur l'intégralité du poste de travail, l'exposition moyenne des deux opérateurs manipulant la car-





↑ FIGURE 5 Opération de remplissage du colis réfrigéré contenant les tissus humains. Le dégagement d'un « nuage » de CO₂ lors du déversement des bâtonnets de carboglace est important.

© INRS

boglace est de seulement 1528 ppm_v, soit 31% de la VLEP-8h.

De manière générale, l'exposition individuelle est en majorité corrélée à la présence dans le local de préparation des colis, comme l'illustre la figure 8. Le détecteur temps réel de CO₂ (DTR n°03) a été placé à poste fixe durant la journée J3 dans le local de conditionnement où sont préparés les colis réfrigérés. Plus précisément, il a été installé au niveau du poste informatique, à hauteur des voies respiratoires de l'opérateur assis pour la saisie des informations. Sur le poste de colisage, qui a duré un peu plus de 50 minutes, la moyenne des réponses de ce DTR est de 3632 ppm_v, soit 92% de l'exposition de l'opérateur « Op n°1 » qui a confectionné les colis ce jour-là, et 104% de l'opérateur « Op n°2 ».

Sur la journée, la concentration moyenne en CO₂ dans le local de conditionnement est de 1621 ppm_v au niveau du poste informatique. La concentration est certes plus importante lors de la manipulation de la carboglace, avec un maximum mesuré à 6700 ppm_v, mais même en fin de journée, la concentration reste supérieure à 1000 ppm_v, du fait de la sublimation de la carboglace non utilisée ou stockée dans les glacières et conservée pour les colisages urgents réalisés lors des astreintes de nuit.

Conclusions

Le recours à des DTR pour réaliser la mesure d'exposition individuelle ne peut être envisagé que dans peu de cas, et si les quatre points suivants sont étudiés:

- Prouver la sélectivité des DTR vis-à-vis de la substance à investiguer, ou être en présence d'une monopollution. Lister les substances qui pourraient interférer dans la réponse des DTR par consultation des documents fabricants et évaluer leur impact.
- Garantir l'exactitude de mesure des DTR par une détermination d'une erreur moyenne sur la concentration mesurée, ce qui nécessite de disposer de sources étalon.
- Assurer la non-influence, ou quantifier l'influence, des paramètres environnementaux comme la température, l'hygrométrie ou la pression atmosphérique, sur la mesure par les DTR. Il faut donc pouvoir mesurer ces paramètres durant la campagne de mesures.
- Établir que la réponse des DTR n'est pas influencée par la campagne de mesures elle-même, par *a minima* une vérification au gaz de calibration avant et après la campagne, au mieux par un étalonnage avant et après la campagne.

Pour la campagne effectuée à la BTH, toutes ces conditions étaient réunies. En l'absence d'une méthode de prélèvement individuelle à mesure



↑ FIGURE 6 Vue d'ensemble du local de préparation des colis de tissus humains. À droite, poste de remplissage des cartons (en second plan, les deux glacières vertes permettant la conservation de la carboglace non encore utilisée). À gauche, poste informatique pour le suivi administratif des colis.

© INRS



↑ FIGURE 7 Chariot de transport des cartons de carboglace livrés par le fournisseur au début de chaque journée.

© INRS

Jour	N°opérateur	PHASE DE PRÉPARATION DES COLIS			INTÉGRALITÉ DU POSTE	
		[CO ₂] moy (ppm _v)	Durée (hh:mn)	[CO ₂] max (ppm _v)	[CO ₂] moy (ppm _v)	Durée (hh:mn)
J2	1	3730	01:22	9980	1675	06:02
J2	2	4256	01:00	21280	1156	05:40
J3	1	3958	00:51	9980	1456	05:27
J3	2	3514	00:51	20940	1202	05:27
J4	1	3356	00:55	18470	2150	02:17

↑ **TABLEAU 4** Résultats des mesures d'exposition individuelle sur les trois jours de mesures.
Pour chacune des journées, sont calculées les valeurs moyennes et maximales de CO₂ mesurées par les DTR des deux opérateurs.

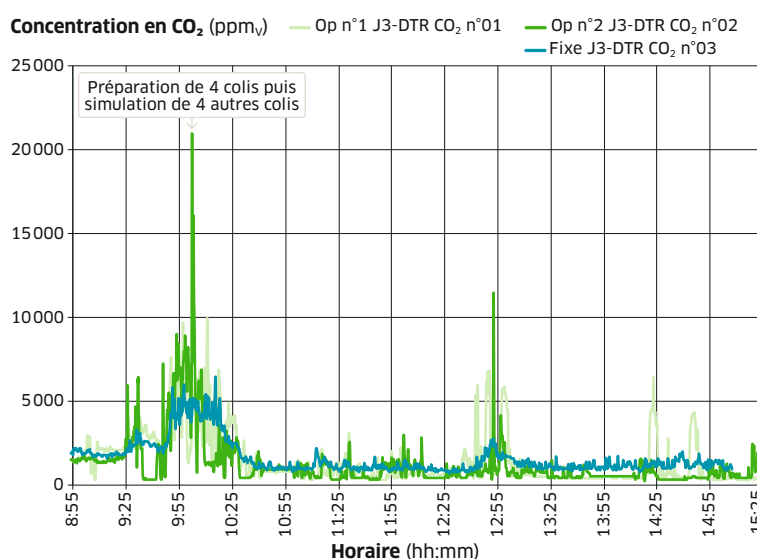
différée, l'utilisation des DTR s'est ainsi avérée pertinente. Cette méthodologie est intéressante pour objectiver la présence de CO₂ dans l'atmosphère des locaux et quantifier l'exposition individuelle des opérateurs manipulant la carboglace.

Même si la VLEP-8h du CO₂ n'est pas dépassée pour les opérateurs suivis, les concentrations relevées demeurent importantes et peuvent expliquer, du fait de l'exposition chronique, les symptômes décrits par les opérateurs. Les concentrations mesurées au niveau des opérateurs sont du même ordre de grandeur que la VLEP-8h lors des opérations de manipulation de la carboglace pour le conditionnement des tissus humains en colis réfrigérés. Les mesures de CO₂ en temps réel sur une période de trois jours et demi ont permis de proposer des solutions de prévention afin de diminuer l'exposition au CO₂.

En parallèle au suivi de l'exposition individuelle des deux opérateurs, un réseau de capteurs sans fils a été déployé pour l'enregistrement des niveaux de CO₂ dans différentes pièces et pour confirmer la compréhension des phénomènes de diffusion de la pollution au CO₂. La principale conclusion qui en découle est que les cartons de carboglace et les colis de tissus humains réfrigérés sont une source de pollution continue au cours de la journée du fait de la sublimation des bâtonnets de glace en CO₂ gazeux.

Il a été recommandé d'adopter des mesures pour diminuer l'exposition au CO₂:

- Réalisation d'un stockage extérieur pour la livraison matinale des cartons de carboglace par le fournisseur. Ce stockage, aéré et sécurisé, permettrait de ne faire entrer dans les locaux que la stricte quantité de glace carbonique nécessaire aux moments requis. Cette mesure évitera toute pollution des locaux, imputable à la sublimation continue des bâtonnets de carboglace.
- Mettre en place un système de ventilation générale pour renouveler l'air ambiant et éviter des niveaux trop importants de CO₂ dans l'air. *A minima*, étudier l'installation de point de captage au niveau du local de confection des colis



↑ **FIGURE 8** Mesure des expositions individuelles (courbes rouge et bleue) et mesure à poste fixe dans le local de conditionnement au niveau du poste informatique (courbe verte) durant la journée J3. Au total, pour cette journée, 120 kg de carboglace ont été livrés et stockés dans le sas d'entrée. Plusieurs retours de colis non utilisés sont présents dès le début d'après-midi.

et au niveau du hall d'accueil où sont stockés les colis en attente d'expédition ou les colis de retour. Une surveillance du taux de CO₂ dans les locaux dans lesquels sont présentes des sources diffuses de CO₂ importantes est souhaitable, par exemple par l'installation d'un DTR spécifique à poste fixe couplé à une alarme. Le couplage d'un tel DTR avec une ventilation mécanique forcée s'avérerait d'autant plus efficace, au niveau de la prévention des risques professionnels. Une solution plus simple pour la mesure de CO₂ dans l'air ambiant consiste à utiliser des tubes colorimétriques associés à un système de prélèvement, pompe ou seringue, qui permettent d'estimer, à un instant donné, la concentration en CO₂. Un tel dispositif a été déployé lors de la campagne (Cf. Figure 9) et comparé à la lecture au même endroit et même moment d'un DTR de modèle MultiRAE, équipé d'un capteur infrarouge. Par exemple, lors d'une mesure dans le local de confection des colis, un tube a indiqué une concentration de 0,5%_v, soit





↑ FIGURE 9 Mesure de CO₂ par un tube colorimétrique associé à une seringue de prélèvement (appareil de droite) et par un DTR multigaz actif (appareil de gauche).

5 000 ppm_v de CO₂, alors que dans le même temps d'échantillonnage, le DTR indiquait entre 4 200 et 4 800 ppm_v.

Les données recueillies ont permis de rédiger une notice de poste pour l'opération de colissage des greffons en carboglace et de faire évoluer le document unique d'évaluation des risques (DUER) de l'unité. Un plan d'actions suivant les recommandations de l'INRS (Cf. *Pour en savoir plus*) a pu être enclenché, afin de maîtriser cette exposition individuelle.

Les travaux de cette étude de cas sont extrapolables à d'autres secteurs d'activités où des expositions au CO₂ sont possibles lors d'activités de génération de froid, qu'il s'agisse de manipulation de carboglace ou de maintenance d'installations frigorigènes. Dans le secteur de la santé, le CO₂ est également utilisé pour les insufflations endoscopiques et au sein des incubateurs des laboratoires de culture cellulaire. Émis lors de la fermentation de matières organiques, le CO₂ est par ailleurs présent dans le milieu agricole et notamment viticole avec parfois des accidents à l'issue fatale. Son utilisation est également courante dans l'industrie agroalimentaire ou encore dans la restauration, avec la mise en œuvre de bouteilles sous pression pour la gazéification des boissons. ●

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des participants et contributeurs à cette campagne de mesures :
Équipe de la BTH : J.B. Collignon, J.L. Filippi, C. Fourrier, S. Jarry, C. Legoff, T. Marchix, J.-C. Gourevitch ;
Service de santé au travail et cellule des conditions de travail de Saint-Louis : L. Glomot, A. Simon.

POUR EN SAVOIR +

- Base de données des méthodes MétroPol. INRS. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html.
- Fiche toxicologique n° 238 – Dioxyde de carbone. INRS. Accessible sur : <http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox.html>
- Protection collective contre les risques chimiques recommandations (de l'INRS et du réseau Assurance maladie

– Risques professionnels pour abaisser l'exposition aux polluants gazeux dans l'air des lieux de travail. Accessible sur : <http://www.inrs.fr/risques/chimiques/protection-collective.html>.

• Détecteurs portables de gaz et de vapeurs. Guide de bonnes pratiques pour le choix, l'utilisation et la vérification. INRS, 2011, ED 6088, pp. 9-10. Accessible sur : www.inrs.fr.

• LOUIS F., GUEZ M., LE BACLE C. – Intoxication par inhalation de dioxyde de carbone. Documents pour le médecin du travail, 3^e trimestre 1999, 79, réf. TC 74. Accessible sur : www.rst-sante-travail.fr.

• Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective – Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé. Anses, juillet 2013, Saisine n° 2012-SA-0093.