OPEN ACCESS

# Une méthode simple pour évaluer la qualité de l'air des chambres des patients

## et faciliter l'application des nouvelles recommandations nationales pour la prévention de la transmission par voie respiratoire

**Nathalie Réginaud[1], Justice Avice[2], Aurore Covello[3], Nathalie Daridan[4], Florence Debaise[4], Lenaïck Kernen[5], Gaëlle Léger[2], Hélène Millet[4], Virginie Morange[6], Agnès Petiteau[2], Alexis Robin[5], Siham Serhane[7], Hélène Thème[8], Nathalie van der Mee-Marquet[1]**

1- Centre d'appui pour la prévention des infections associées aux soins (Cpias) de la région Centre-Val de Loire – Hôpital Bretonneau – Centre hospitalier régional universitaire (CHRU) de Tours – Tours – France
2- Équipe de prévention du risque infectieux (Epri) – Pôle santé Léonard de Vinci – Chambray-lès-Tours – France
3- Établissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (Ehpad) Villa Éléonore – Montlouis-sur-Loire – France
4- Ehpad L'Ermitage – CHRU de Tours – Tours – France
5- Services techniques – CHRU de Tours – Tours – France
6- Epri – Hôpital Trousseau – CHRU de Tours – Tours – France
7- Service de pneumologie – Hôpital Bretonneau – CHRU de Tours – Tours – France
8- Service des maladies infectieuses et tropicales – Hôpital Bretonneau – CHRU de Tours – Tours – France

✉ **Dr Nathalie van der Mee-Marquet** – CPias Centre-Val de Loire – Hôpital Bretonneau – CHRU – Boulevard Tonnellé – 37044 Tours Cedex – France – E-mail : N.VANDERMEE@chu-tours.fr

## Résumé

**Contexte.** Dans les établissements sanitaires et médico-sociaux, face à un patient ou résident suspect ou atteint d'une affection respiratoire, le niveau de précautions à mettre en œuvre dépend, entre autres, de la qualité de la ventilation dans les chambres. L'évaluation de la conformité de la ventilation d'une chambre nécessite de mesurer le taux de $CO_2$ de l'air ambiant pendant 2 h en présence humaine. **Méthode.** Avec un capteur, nous avons étudié le taux de $CO_2$ ambiant de 14 chambres (individuelles ou doubles) bénéficiant d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) ou d'une centrale de traitement d'air (CTA), en conditions de vie réelle, en été et en hiver. Nous avons comparé les taux mesurés aux taux estimés avec un outil de calcul proposé par l'INRS. Enfin, nous avons simulé les taux de $CO_2$ de l'air ambiant des chambres pour un soin standard de 20 minutes. **Résultats.** Les taux de $CO_2$ dans l'air ambiant (moyens et médians) ont été <1 300 ppm, en conditions de vie réelle, pour les chambres bénéficiant d'une CTA, 85,7% des chambres individuelles avec VMC, et 40,0% des chambres doubles. Les taux mesurés ont été fortement corrélés à ceux mesurés avec l'outil de calcul. La performance de la méthode d'estimation pour identifier les taux de $CO_2$ <1 300 ppm, en comparaison avec les mesures du capteur, a été de 95,6%. Les taux de $CO_2$ estimés (moyens et médians) ont été <1 300 ppm dans 92,9% des 14 chambres (13/14), en condition simulant un soin standard de 20 min en chambre individuelle. **Conclusion.** Les résultats sont encourageants et permettent d'envisager l'utilisation de mesures ponctuelles du taux de $CO_2$ de l'air ambiant et de l'outil de calcul INRS pour investiguer facilement la conformité de la ventilation des chambres des ESMS.

**Mots-clés :** Ventilation – Contrôle de la qualité de l'air – Transmission respiratoire – Recommandations.

## *Abstract*

### *A simple method for assessing air quality in patient rooms and facilitating the implementation of new national recommendations for the prevention of respiratory transmission*

***Background.*** *In healthcare and social care facilities, when caring for a patient or resident with suspected or confirmed respiratory infection, the level of precautions to be implemented depends, among other factors, on the quality of ventilation in patient or resident rooms. Assessing whether room ventilation meets the required standards involves measuring ambient air $CO_2$ levels for 2 hours while the room is occupied.* ***Methods.*** *Using a $CO_2$ monitor, we assessed ambient air $CO_2$ levels in 14 single or double rooms equipped with mechanical ventilation or an air-handling unit (AHU), under real-life conditions in summer and winter. We compared the measured levels with those estimated using a calculation tool developed by the INRS. Finally, we simulated ambient air $CO_2$ levels in the rooms during a standard care procedure.* ***Results.*** *Mean and median ambient air $CO_2$ levels were <1,300 ppm under real-life conditions in rooms equipped with an AHU, in 85.7% of single rooms with mechanical ventilation, and in 40.0% of double rooms. Measured levels were strongly correlated with those estimated using the INRS calculation tool. The estimation method identified $CO_2$ levels <1,300 ppm with an accuracy of 95.6%, compared with measurements obtained using the $CO_2$ monitor. Estimated mean and median $CO_2$ levels were <1,300 ppm in 92.9% of the 14 rooms (13/14) under conditions simulating a standard 20-minute care procedure in a single room.* ***Conclusion.*** *These findings are encouraging and suggest that spot measurements of ambient air $CO_2$ levels combined with the INRS calculation tool could provide a simple means of assessing whether ventilation in rooms in healthcare and social care facilities meets the required standards.*

***Keywords:*** *Ventilation – Air quality monitoring – Respiratory transmission – Guidelines.*

## Introduction

### État des lieux de la prévention de la transmission par voie respiratoire

En établissement sanitaire ou médico-social, prodiguer des soins à un patient ou résident suspect ou atteint d'infection à transmission respiratoire expose le professionnel de santé au risque de contamination. Ce risque dépend principalement de la nature du pathogène responsable de l'infection respiratoire du patient ou résident, de la nature de l'exposition (définie par la nature et la durée du soin et par le port éventuel d'un masque par le patient ou résident infecté) et de la qualité de la ventilation dans la chambre où est hospitalisé ou hébergé le patient ou résident [1]. La mise en œuvre des précautions complémentaires respiratoires permet de diminuer le risque de transmission et de protéger les professionnels de santé. Les recommandations nationales pour la prévention de la transmission par voie respiratoire en milieu de soins ont évolué en 2024 [2]. Trois niveaux de précautions ont été définis (simples, renforcées, maximales), afin de prendre en compte les différents niveaux de risque de transmission. Dans les établissements sanitaires et médico-sociaux, l'installation de systèmes de ventilation des locaux fait l'objet d'une réglementation importante. Le Code du travail précise que le débit d'air neuf doit être suffisant pour que le taux de dioxyde de carbone ($CO_2$) dans la chambre occupée soit <1 300 ppm [3]. Le décret du 27 décembre 2022 [4] et l'avis du Haut Conseil de la santé publique du 21 janvier 2022 [5] précisent les conditions de mesure des taux de $CO_2$ (mesure dans une chambre occupée, d'une durée de deux heures, avec un capteur utilisant la spectrométrie d'absorption infrarouge non dispersif, ou une technologie équivalente, étalonné et capable de mesurer et afficher des taux compris entre 0 ppm et 5 000 ppm). Pour la plupart des soins, le niveau de précautions à appliquer dépend uniquement du pathogène et du niveau d'exposition du professionnel à ce pathogène. C'est par exemple le cas des soins associés à une exposition faible du professionnel (soins de courte durée, ou ceux prodigués auprès d'un patient ou résident portant un masque) pour lesquels les précautions simples suffisent. Par ailleurs, il existe deux situations spécifiques pour lesquelles la qualité de la ventilation implique d'augmenter le niveau de précautions à appliquer **(Tableau I)**. Tout d'abord, pour un patient suspect ou atteint d'infection associée à un pathogène du groupe A (*Neisseria meningitidis*, *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes*, *Bordetella pertussis* et *parapertussis*, *Corynebacterium diphtheriae*, *Haemophilus influenzae* (infection respiratoire et méningite), *Chlamydia pneumoniae* (pharyngite, bronchite, pneumopathie), *Mycoplasma pneumoniae*, *Myxovirus parainfluenzae parotidis* (oreillons), SARS-CoV-2 (Covid-19), adénovirus (infection respiratoire), virus parainfluenza, virus influenza (grippe), virus respiratoire syncytial (bronchiolite…), métapneumovirus, rhinovirus, coronavirus « saisonniers » hors SARS-CoV-2, bocavirus, Rubivirus [rubéole]), bénéficiant d'un soin rapproché (<1 m) d'une durée >15 minutes, ou d'un soin exposant le professionnel à des aérosols de façon modérée (extubation, ventilation non invasive, aspiration des voies aériennes…), les précautions simples s'appliquent si la ventilation de

**Tableau I – Situations pour lesquelles la qualité de la ventilation détermine le niveau de précautions à appliquer.**

| Situation | Niveau de précautions à appliquer selon la qualité de la ventilation | |
|---|---|---|
| | Ventilation conforme | Ventilation non conforme |
| Patient suspect ou atteint d'infection associée à un pathogène du groupe A<br>+<br>Soin rapproché (<1 m) d'une durée >15 minutes<br>ou<br>soin exposant le professionnel à des aérosols de façon modérée (extubation, ventilation non invasive, aspiration des voies aériennes…) | **Précautions simples** | **Précautions renforcées** |
| Patient suspect ou atteint d'infection associée à un pathogène du groupe B<br>+<br>Soin non rapproché (>1 m) d'une durée >30 minutes<br>ou<br>soin exposant le professionnel à des aérosols de façon élevée (intubation pour un patient non curarisé, réanimation cardiopulmonaire, ventilation manuelle au masque facial, trachéotomie, trachéostomie, induction de crachats…) | **Précautions renforcées** | **Précautions maximales** |

la chambre est conforme, mais elles doivent être renforcées si la ventilation n'est pas conforme. De même, pour un patient présentant une infection associée à un pathogène du groupe B (*Mycobacterium tuberculosis* sensible [infection parenchymateuse pulmonaire, bronchique ou otorhinolaryngologique], virus varicelle-zona [varicelle et zona disséminés chez la personne immunodéprimée], virus de la rougeole ou MeV [*measles virus*]), bénéficiant d'un soin non rapproché (>1 m) d'une durée >30 minutes, ou d'un soin exposant le professionnel à des aérosols de façon élevée (intubation pour un patient non curarisé, réanimation cardiopulmonaire, ventilation manuelle au masque facial, trachéotomie, trachéostomie, induction de crachats…), les précautions renforcées s'appliquent si la ventilation de la chambre est conforme, mais doivent être maximales si la ventilation n'est pas conforme.

### Évaluation de la conformité de la ventilation

En dehors des zones dans lesquelles la qualité de l'air est maîtrisée (blocs opératoires, locaux dédiés à la stérilisation…), les équipes de prévention du risque infectieux (Epri) ne disposent généralement pas des données concernant la qualité de l'air de leurs locaux, ni d'un appareil adapté pour réaliser les mesures des taux de $CO_2$, ni de temps dédié pour réaliser ce travail (deux heures par chambre). L'évaluation de la conformité de la ventilation dans les chambres constitue un nouveau défi. Il est vraisemblable que les difficultés rencontrées puissent contribuer à retarder l'application des nouvelles recommandations. Face à ce constat, nous avons investigué la qualité de la ventilation dans les chambres d'établissements sanitaires et médico-sociaux. Nous avons ensuite recherché une méthode plus simple pour évaluer la conformité de la ventilation des chambres. Nous proposons une stratégie dont l'objectif est de contribuer à faciliter l'application des recommandations nationales.

## Matériel et méthode

### Participation des établissements

Quatre établissements d'Indre-et-Loire ont participé à l'étude : un centre hospitalier universitaire, une clinique privée de court séjour et deux établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (Ehpad) (un public et un privé). Au total, 14 chambres ont été étudiées (5 doubles et 9 individuelles), toutes équipées d'un cabinet de toilette avec WC. Les Epri des établissements participants ont sélectionné des chambres occupées par au moins un patient ou résident informé, et faisant l'objet de soins prodigués par au moins un professionnel de santé pendant les deux heures d'enregistrement des mesures du taux de $CO_2$. Pour chaque chambre étudiée, le volume de la chambre, les caractéristiques de la ventilation (ventilation mécanique contrôlée simple flux ou centrale de traitement d'air double flux ; débit d'air neuf annoncé par le responsable des services techniques) ont été documentées. L'étude a comporté trois phases.

### Phase 1. Mesure du taux de $CO_2$ dans l'air extérieur et dans l'air ambiant des chambres

Les taux de $CO_2$ ont été mesurés avec un capteur répondant aux préconisations nationales (Octopus, Airinspace, Élancourt, France), par un même professionnel. Deux séries de mesures ont été faites en conditions de vie réelle dans chaque chambre : la première série en été (entre le 27 juin et le 17 juillet 2025) et la seconde en hiver (entre le 12 novembre et le 16 décembre 2025). Les mesures réalisées dans les chambres ont été précédées par la mesure du taux de $CO_2$ à l'extérieur de l'établissement, effectuée l'appareil posé sur un plan stable à une hauteur comprise entre 1 et 2 mètres du sol, à l'abri des intempéries. À l'intérieur des chambres, le capteur a été posé sur une table à une hauteur comprise entre 1 et 2 mètres, à distance des entrées et sorties d'air (fenêtres et portes) et des patients ou résidents (>1 m). Chaque mesure du taux de $CO_2$ de l'air ambiant des chambres a duré deux heures, avec enregistrement automatique toutes les 60 secondes (120 valeurs par mesure). L'évolution de l'occupation des chambres pendant les deux heures (allées et venues des professionnels et des patients ou résidents) a été documentée. À partir de chaque série de mesures, les cinq données suivantes ont été utilisées pour l'analyse : le taux de $CO_2$ de l'air ambiant extérieur, le taux initial de $CO_2$ de l'air ambiant de la chambre et trois valeurs calculées : les taux de $CO_2$ moyen, médian et maximal. Un index d'occupation (IO) de la chambre pendant les deux heures de mesure a été calculé pour chacune des 28 mesures, selon la formule suivante : IO = N plages de 5 minutes pendant lesquelles 1 personne était présente + 2x(N plages de 5 minutes avec 2 personnes) + 3x(N plages avec 3 personnes) + 4x(N plages avec 4 personnes).

### Phase 2. Estimation du taux de $CO_2$ dans l'air ambiant des chambres en conditions de vie réelle avec l'outil de l'INRS

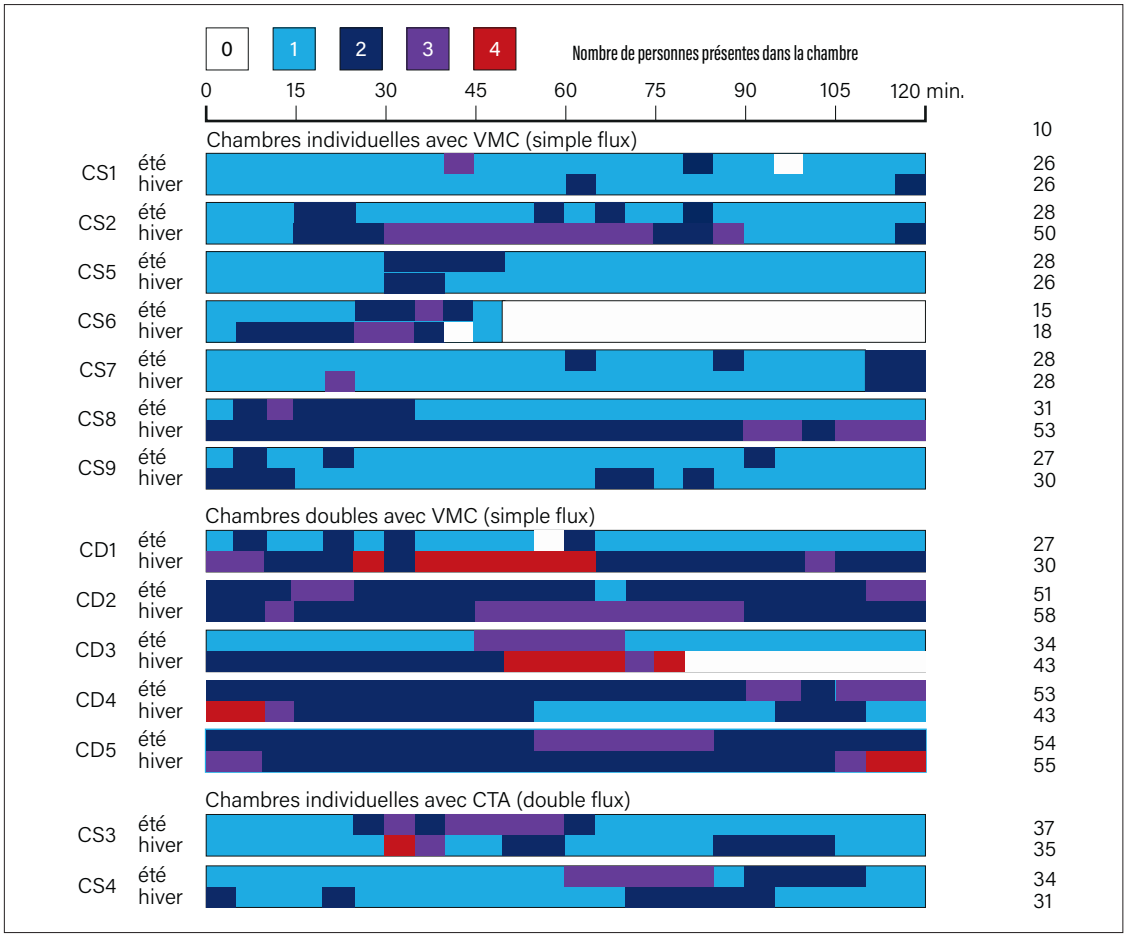
L'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS) propose un outil de calcul permettant d'estimer le taux de $CO_2$ dans l'air ambiant d'une chambre sans nécessité de mesurer le taux de $CO_2$ pendant deux heures [6]. L'utilisation de cet outil nécessite de saisir le volume de la chambre, le débit d'air neuf annoncé, le flux de personnes présentes dans la chambre pendant deux heures, et deux taux de $CO_2$ mesurés de façon ponctuelle : le taux de $CO_2$ dans l'air ambiant extérieur, et le taux de $CO_2$ initial dans l'air ambiant de la chambre. Pour estimer les taux de $CO_2$ dans chaque chambre en conditions de vie réelle, nous avons saisi dans l'outil les données

**Tableau II – Taux de $CO_2$ mesurés avec le capteur, et estimés avec l'outil de simulation, selon les chambres.**

| Chambres | | | Taux $CO_2$ (ppm) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Volume ($m^3$) | Débit air neuf ($m^3$/h) | Série | mesurés avec le capteur | | | | | estimés avec l'outil INRS en simulant | | | | | | |
| | | | Index d'occupation* | en condition de vie réelle | | | | les conditions de vie réelle | | | un soin standard | | | |
| | | | | Initial | Moyen | Médian | Max | Moyen | Médian | Max | Moyen | Médian | Max | |
| **Ventilation mécanique contrôlée (VMC) simple flux, chambres individuelles** | | | | | | | | | | | | | | |
| CS1 | 42 | 45 | Été | 26 | 605 | 542 | 530 | 644 | 809 | 860 | 909 | 820 | 864 | 941 |
| | | | Hiver | 26 | 787 | 915 | 915 | 947 | 897 | 894 | 979 | 931 | 966 | 1 036 |
| CS2 | 41 | 45 | Été | 28 | 1 035 | 974 | 987 | 1 035 | 989 | 999 | 1 043 | 999 | 995 | 1 068 |
| | | | Hiver | 50 | 835 | 1 183 | 1 182 | 1 391 | 1209 | 1 287 | 1 460 | 962 | 997 | 1 066 |
| CS5 | 61 | 30 | Été | 28 | 540 | 663 | 644 | 792 | 696 | 699 | 816 | 789 | 813 | 962 |
| | | | Hiver | 26 | 924 | 856 | 842 | 958 | 959 | 955 | 1 061 | 1 058 | 1 074 | 1 148 |
| CS6 | 55 | 30 | Été | 15 | 847 | 753 | 746 | 913 | 941 | 920 | 1 107 | 997 | 1 016 | 1 092 |
| | | | Hiver | 18 | 1 345 | 1 190 | 1 200 | 1 498 | 1 277 | 1 335 | 1 507 | 1 322 | 1 320 | 1 372 |
| CS7 | 55 | 30 | Été | 28 | 1 092 | 954 | 942 | 1 645 | 1 108 | 1 099 | 1 167 | 1 145 | 1 157 | 1 212 |
| | | | Hiver | 28 | 1 015 | 1 197 | 1 192 | 1 379 | 1 125 | 1 132 | 1 254 | 1 147 | 1 165 | 1 230 |
| CS8 | 33 | 30 | Été | 31 | 889 | 1 093 | 1 133 | 1 297 | 1 179 | 1 195 | 1 290 | 1 076 | 1 117 | 1 211 |
| | | | Hiver | 53 | 1 175 | 1 213 | 1 198 | 1 371 | 1 100 | 1 140 | 1 415 | 1 240 | 1 255 | 1 349 |
| CS9 | 36 | 30 | Été | 27 | 726 | 896 | 931 | 991 | 941 | 960 | 1 055 | 983 | 1 027 | 1 123 |
| | | | Hiver | 30 | 944 | 1 307 | 1 290 | 1 547 | 1 145 | 1 125 | 1 241 | 1 119 | 1 154 | 1 241 |
| **Ventilation mécanique contrôlée (VMC) simple flux, chambres doubles** | | | | | | | | | | | | | | |
| CD1 | 49 | 60 | Été | 25 | 551 | 585 | 582 | 622 | 698 | 718 | 759 | 732 | 773 | 835 |
| | | | Hiver | 67 | 1 204 | 1 426 | 1 424 | 1 614 | 1 365 | 1 375 | 1 558 | 1 015 | 1 004 | 1 204 |
| CD2 | 59 | 60 | Été | 51 | 1 168 | 935 | 904 | 1 172 | 1 152 | 1 159 | 1 198 | 981 | 970 | 1 168 |
| | | | Hiver | 58 | 897 | 1 219 | 1 222 | 1 327 | 1 122 | 1 143 | 1 273 | 889 | 885 | 940 |
| CD3 | 81 | 30 | Été | 34 | 963 | 703 | 741 | 963 | 1 038 | 1 012 | 1 175 | 1 040 | 1 048 | 1 096 |
| | | | Hiver | 43 | 1 250 | 1 327 | 1 303 | 1 472 | 1 480 | 1 489 | 1 712 | 1 279 | 1 284 | 1 321 |
| CD4 | 61 | 30 | Été | 53 | 993 | 1 136 | 1 125 | 1 392 | 1 289 | 1 295 | 1 597 | 1 077 | 1 089 | 1 143 |
| | | | Hiver | 43 | 1 005 | 1 179 | 1 193 | 1 224 | 1 324 | 1 356 | 1 409 | 1 105 | 1 119 | 1 175 |
| CD5 | 59 | 30 | Été | 54 | 792 | 1 342 | 1 318 | 1 591 | 1 266 | 1 256 | 1 615 | 949 | 967 | 1 054 |
| | | | Hiver | 55 | 1 220 | 1 564 | 1 549 | 1 936 | 1 488 | 1 495 | 1 782 | 1 246 | 1 255 | 1 303 |
| **Centrale de traitement de l'air double flux (CTA), 100% air neuf, chambres individuelles** | | | | | | | | | | | | | | |
| CS3 | 62 | 284 | Été | 37 | 764 | 730 | 713 | 862 | 566 | 557 | 764 | 548 | 530 | 764 |
| | | | Hiver | 35 | 719 | 747 | 751 | 802 | 618 | 614 | 719 | 596 | 585 | 719 |
| CS4 | 52 | 212 | Été | 34 | 611 | 608 | 605 | 703 | 584 | 586 | 627 | 561 | 553 | 611 |
| | | | Hiver | 31 | 668 | 652 | 647 | 717 | 670 | 665 | 722 | 663 | 654 | 715 |

*Nx étant le nombre de périodes de 5 minutes avec x personne(s) présente(s).
L'outil de simulation (référence Outil97) est proposé par l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (accessible à : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil97 ; consulté le 27-08-2026).
CD : chambre double ; CS : chambre seul ; ppm : partie par million.

**Figure 1 – Représentation schématique de la présence des patients ou résidents et des professionnels de santé dans les chambres pendant les mesures du taux de $CO_2$.**




CD : chambre double ; CS : chambre seul ; CTA : centrale de traitement d'air ; IO : index d'occupation ; VMC : ventilation mécanique contrôlée.

relatives aux chambres étudiées en phase 1 (volume de la chambre, débit d'air neuf annoncé, taux de $CO_2$ extérieur et taux initial, et le flux de personnes présentes dans la chambre pendant les deux heures). Les résultats livrés par l'outil pour chaque simulation ont été caractérisés par les taux de $CO_2$ estimés (moyen, médian et maximal). À l'issue de cette phase, nous avons comparé les taux de $CO_2$ mesurés avec le capteur en phase 1 aux taux de $CO_2$ estimés avec l'outil de calcul en phase 2. Compte tenu de la taille de l'échantillon de chaque groupe (<30) et de l'appariement des données (mesurées vs estimées), un test de Wilcoxon apparié (test non paramétrique) a été utilisé pour l'analyse.

### Phase 3. Simulation du taux de $CO_2$ dans l'air ambiant des chambres avec l'outil de l'INRS pour un soin standard de 20 minutes

Pour chacune des chambres, l'outil de l'INRS a été utilisé pour simuler les taux de $CO_2$ (moyen, médian et maximal) non plus dans des conditions de vie réelle non standardisées comme en phase 2, mais dans les conditions simulées d'un soin standard d'une durée de 20 minutes prodigué par un professionnel à un patient ou résident en chambre individuelle. Les résultats livrés par l'outil ont été caractérisés par les taux de $CO_2$ simulés (moyen, médian et maximal). La ventilation des chambres a été considérée comme conforme lorsque les taux simulés moyen et médian ont été <1 300 ppm.

## Résultats

Les caractéristiques des chambres étudiées et de leurs systèmes de ventilation sont présentées avec les résultats des mesures dans les chambres **(Tableau II)**.

### Phase 1. Mesures du taux de $CO_2$ dans l'air extérieur et dans l'air ambiant des chambres

En considérant l'ensemble des 28 mesures du $CO_2$ dans l'air extérieur, le taux moyen a été de 478 ppm et le taux médian de 467 ppm, avec des valeurs comparables en été (428-447 ppm, taux moyen et médian 442 ppm) et en hiver (488-565 ppm, taux moyen 515 ppm, taux médian 505 ppm). Les mesures du taux de $CO_2$ dans l'air ambiant des 14 chambres en conditions de vie réelle (28 mesures) ont été réalisées sans que l'activité et le nombre de personnes présentes dans les chambres avant le début de la mesure aient été

**Tableau III – Taux de $CO_2$ mesurés avec le capteur, en fonction du type de ventilation et de la saison (été ou hiver).**

| Nombre de chambres | Taux de $CO_2$ mesurés en condition de vie réelle avec le capteur (ppm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mesures réalisées en été | | | Mesures réalisées en hiver | | |
| | <800 | 801-1 300 | >1 300 | <800 | 801-1 300 | >1 300 |
| **Taux de $CO_2$ moyen** | | | | | | |
| **Toutes chambres** | **7** | **6** | **1** | **2** | **8** | **4** |
| 7 chambres individuelles avec VMC | 3 | 4 | | | 6 | 1 |
| 5 chambres doubles avec VMC | 2 | 2 | 1 | | 2 | 3 |
| 2 chambres individuelles avec CTA | 2 | | | 2 | | |
| **Taux de $CO_2$ médian** | | | | | | |
| **Toutes chambres** | **7** | **6** | **1** | **2** | **9** | **3** |
| 7 chambres individuelles avec VMC | 3 | 4 | | | 7 | |
| 5 chambres doubles avec VMC | 2 | 2 | 1 | | 2 | 3 |
| 2 chambres individuelles avec CTA | 2 | | | 2 | | |

CTA : centrale de traitement d'air ; ppm : partie par million ; VMC : ventilation mécanique contrôlée.

planifiés. Les taux de $CO_2$ initiaux ont varié entre 540 et 1 345 ppm, reflétant un nombre de personnes présentes dans les chambres vraisemblablement très différent selon les cas, juste avant le début de la mesure. Le nombre de personnes présentes dans les chambres pendant les mesures a varié entre 0 et 4 selon les cas **(Figure 1)**. L'index d'occupation des chambres a varié entre 15 et 67 selon les cas (moyenne 36,9 ; médiane 32,5). Les taux moyens de $CO_2$ de l'air ambiant ont varié entre 542 et 1 307 ppm dans les chambres individuelles équipées d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC), entre 608 et 747 dans les chambres individuelles avec une centrale de traitement d'air (CTA), et entre 585 et 1 564 dans les chambres doubles équipées de VMC. Les taux moyens ont été >1 300 ppm dans une des 9 chambres individuelles, et dans 3 des 5 chambres doubles. Aucune des chambres équipées d'une CTA n'a présenté un taux moyen >800 ppm **(Tableau III)**. Les taux médians de $CO_2$ de l'air ambiant ont varié entre 530 et 1 290 ppm dans les chambres individuelles avec VMC, entre 605 et 751 dans les chambres individuelles avec CTA, et entre 582 et 1 549 dans les chambres doubles avec VMC. Aucun taux médian n'a été >1 300 ppm dans les chambres individuelles (avec VMC ou CTA). À l'inverse, 3 des 5 chambres doubles ont présenté un taux médian >1 300 ppm. Le taux maximal de $CO_2$ de l'air ambiant a varié entre 644 et 1 936 ppm, et a dépassé 1 300 ppm dans 5 des 7 chambres individuelles avec VMC et pour les 5 chambres doubles. Au total, les mesures en conditions de vie réelle ont montré des taux moyens et médians <1 300 ppm dans 85,7% des chambres individuelles avec VMC (6/7), dans 40,0% des chambres doubles avec VMC (2/5), et dans 100% des chambres individuelles avec CTA (2/2). De plus, les données suggèrent, pour les chambres ayant une VMC, l'influence des saisons et du niveau d'occupation des chambres sur les taux moyens et médians de $CO_2$ mesurés. Les taux ont été plus souvent <1 300 ppm en été qu'en hiver (100% en été vs 85,7% dans les chambres individuelles, et 80,0% en été vs 40,0% en hiver dans les chambres doubles) **(Tableau III)**. De même, les taux ont été plus souvent <1 300 ppm lorsque l'occupation de la chambre était plus faible : 94% des mesures faites avec un IO inférieur ou égal à l'IO moyen (40) vs 60,0% pour les mesures avec un IO >40 **(Tableau IV)**.

### Phase 2. Estimation du taux de $CO_2$ dans l'air ambiant des chambres avec l'outil de l'INRS

L'outil de l'INRS a été utilisé pour estimer le taux de $CO_2$ dans l'air ambiant des 14 chambres, en été et en hiver, dans les conditions de vie réelle observées en phase 1. Pour chacune des 28 situations, ont été renseignés dans l'outil les deux taux de $CO_2$ mesurés en phase 1 (le taux de $CO_2$ dans l'air ambiant extérieur et le taux de $CO_2$ initial mesuré dans la chambre), les caractéristiques de la chambre et de sa ventilation, ainsi que l'évolution du nombre de personnes présentes dans la chambre pendant les deux heures de la mesure faite en phase 1. À partir de ces données, l'outil a produit les taux de $CO_2$ estimés (moyen, médian et maximal) **(Tableau II)**. Les taux moyens estimés ont varié entre 696 et 1 277 ppm pour les chambres individuelles avec VMC, entre 698 et 1 488 pour les chambres doubles avec VMC, et entre 566 et 670 pour les chambres individuelles avec

Tableau IV – Taux de $CO_2$ mesurés avec le capteur, en fonction du type de ventilation et de l'occupation des chambres (IO).

| Chambres | Taux de $CO_2$ mesurés en condition de vie réelle avec le capteur (ppm) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Taux de $CO_2$ moyens | | | Taux de $CO_2$ médians | | |
| | <800 | 801-1 300 | >1 300 | <800 | 801-1 300 | >1 300 |
| **Toutes chambres avec VMC** | **5** | **14** | **5** | **5** | **15** | **4** |
| IO <41 | 5 | 8 | 1 | 5 | 9 | |
| IO >40 | | 6 | 4 | | 6 | 4 |
| **7 chambres individuelles avec VMC** | **3** | **10** | **1** | **3** | **11** | |
| IO <41 | 3 | 8 | 1 | 3 | 9 | |
| IO >40 | | 2 | | | 2 | |
| **5 chambres doubles avec VMC** | **2** | **4** | **4** | **2** | **4** | **4** |
| IO <41 | 2 | | | 2 | | |
| IO >40 | | 4 | 4 | | 4 | 4 |
| **2 chambres individuelles avec CTA** | **2** | | | **2** | | |
| IO <41 | 4 | | | 4 | | |
| IO >40 | | | | | | |
| **Toutes chambres** | **9** | **14** | **5** | **9** | **15** | **4** |
| IO <41 | 9 | 8 | 1 | 9 | 9 | |
| IO >40 | | 6 | 4 | | 6 | 4 |

*IO=N plages de 5 minutes pour lesquelles 1 personne était présente + 2xN plages de 5 minutes avec 2 personnes + 3xN plages avec 3 personnes + 4xN plages avec 4 personnes. ; Nx étant le nombre de périodes de 5 minutes avec x personne(s) présente(s).

CTA : centrale de traitement d'air ; VMC : ventilation mécanique contrôlée.

CTA. Les taux moyens ont été >1 300 ppm pour 4 des 5 chambres doubles. Aucune des chambres équipées d'une CTA n'a présenté un taux moyen >1 300 ppm. Les taux médians ont varié entre 699 et 1 335 ppm pour les chambres individuelles avec VMC, entre 718 et 1 495 pour les chambres doubles, et entre 557 et 665 pour les chambres individuelles avec CTA. Un taux médian >1 300 ppm a été retrouvé pour une chambre individuelle avec VMC et 4 des 5 chambres doubles. La comparaison des taux de $CO_2$ mesurés avec le capteur et des taux de $CO_2$ estimés avec l'outil de calcul a montré une forte corrélation entre taux mesurés et estimés (Figure 2). La comparaison des deux méthodes par le test de Wilcoxon apparié n'a pas mis en évidence de différence significative entre les valeurs estimées et mesurées des taux moyens (p=0,15), des taux médians (p=0,07), ou des taux maximaux (p=0,34). La performance de la méthode d'estimation pour identifier les taux de $CO_2$ <1 300 ppm, par comparaison avec les mesures du capteur, a été de 95,6% (22 vrais positifs, 1 faux positif, 1 faux négatif et 4 vrais négatifs). Ces résultats montrent, dans le cadre de notre étude, une approximation satisfaisante par l'outil de l'INRS des taux de $CO_2$ mesurés par le capteur.

### Phase 3. Simulation du taux de $CO_2$ dans l'air ambiant d'une chambre avec l'outil de l'INRS pour un soin standard

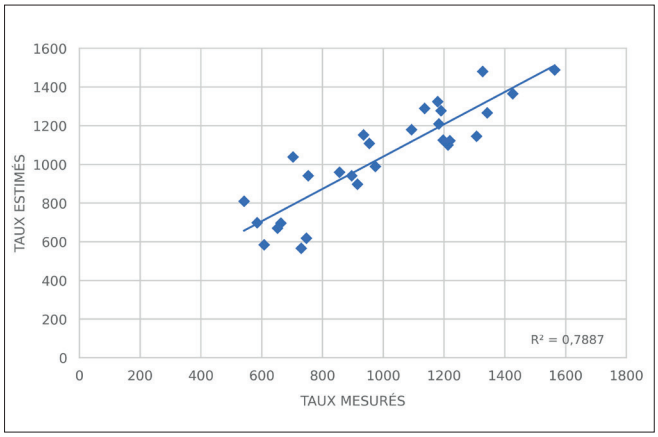
Dans le cadre de la mise en place des précautions complémentaires respiratoires, pour que la ventilation soit considérée comme conforme, le taux de $CO_2$ ambiant lors d'un soin d'une durée de 20 minutes prodigué dans une chambre individuelle à un patient ou résident infecté doit être <1 300 ppm. Du fait de ses performances pour détecter les taux de $CO_2$ <1 300 ppm, l'outil de l'INRS a été utilisé pour simuler le taux de $CO_2$ ambiant dans les conditions d'un soin d'une durée de 20 minutes prodigué par un professionnel dans une chambre (individuelle ou non) accueillant un patient ou résident unique. La simulation a été conduite 28 fois : dans chaque cas, ont été renseignés dans l'outil les deux taux de $CO_2$ mesurés en phase 1 (le taux de $CO_2$ dans l'air ambiant extérieur et le taux de $CO_2$ initial mesuré dans la chambre), les caractéristiques de la chambre et de sa ventilation, et l'évolution du nombre de personnes présentes dans la chambre pendant les deux heures de la mesure (un patient ou résident seul dans la chambre pendant 100 minutes, et accompagné d'un professionnel pendant 20 minutes).

Les taux de $CO_2$ moyens ont varié entre 548 et 1 322 et ont été >1300 ppm pour une chambre individuelle avec VMC. Les taux de $CO_2$ médians ont été semblables aux taux moyens. Au total, pour la simulation du soin standard en chambre individuelle, les taux de $CO_2$ estimés (moyens et médians) ont été <1 300 ppm pour 92,9% des 14 chambres (13/14) **(Tableau II)**.

## Discussion

Les recommandations pour la prévention de la transmission par voie respiratoire en milieu de soins préconisent d'évaluer la conformité de la ventilation des chambres des patients ou résidents [2]. Connaître la qualité de la ventilation nécessite, dans l'absolu, la mesure du taux de $CO_2$ de l'air ambiant dans les chambres pendant une durée de deux heures [4,5]. Ce travail chronophage et nécessitant l'acquisition d'un appareillage coûteux constitue, pour les Epri, un frein à l'application de ces nouvelles recommandations. La mesure du taux de $CO_2$ de l'air ambiant de 14 chambres utilisées en conditions de vie réelle, avec un capteur enregistrant toutes les 60 secondes le taux de $CO_2$ pendant deux heures, a apporté des données d'intérêt. Premièrement, les taux de $CO_2$ mesurés (moyens et médians) ont été <800 ppm dans les 2 chambres avec CTA, en hiver et en été, mais dans aucune des chambres avec VMC simple flux. Ces résultats confirment l'intérêt des centrales de traitement d'air pour épurer l'air ambiant et diminuer le risque de transmission respiratoire [1,2]. Concernant les chambres équipées d'une VMC simple flux, les taux de $CO_2$ mesurés (moyen et médian) ont été <1 300 ppm dans 6 des 7 chambres individuelles, et 2 des 5 chambres doubles. Ces résultats, bien que limités à un petit échantillon, suggèrent l'existence d'une ventilation adéquate dans la plupart des chambres individuelles des établissements sanitaires et médico-sociaux. Deuxièmement, les taux de $CO_2$ mesurés ont été plus élevés en hiver qu'en été, vraisemblablement en raison de la moindre aération des chambres en période hivernale (fenêtres fermées). Ces résultats rappellent l'importance de l'aération régulière des chambres pour prévenir la transmission respiratoire. Enfin, les taux de $CO_2$ ont été plus élevés dans les chambres dont le taux d'occupation était le plus élevé. Compte tenu du nombre limité des mesures (n=28) et des conditions non standardisées de leur réalisation (les conditions en vie réelle ayant varié d'une mesure à l'autre), ces résultats préliminaires concernant l'impact de la période hivernale et de l'occupation des chambres sur la qualité de la ventilation devraient être complétés par la réalisation de mesures additionnelles, dans des conditions standardisées, pour pouvoir être investigués. L'outil de calcul proposé par l'INRS pour estimer le taux de $CO_2$ ambiant d'un local à partir de son volume, du débit d'air neuf annoncé et de deux mesures ponctuelles du taux de $CO_2$ (air extérieur et air ambiant du local) présente l'avantage de ne pas nécessiter une mesure du taux de $CO_2$ pendant deux heures. Pour évaluer la capacité de l'outil à détecter des taux <1 300 ppm, nous avons comparé les taux de $CO_2$ mesurés en phase 1 dans 14 chambres avec les taux estimés par l'outil. Nos résultats ont montré une corrélation très satisfaisante entre les taux mesurés et estimés, et une performance élevée de l'outil pour détecter des taux de $CO_2$ <1 300 ppm. Afin d'estimer la conformité de la ventilation dans les 14 chambres de notre étude lors d'un soin standard, nous avons utilisé l'outil de calcul en simulant les conditions d'un soin standard d'une durée de 20 minutes prodigué par un professionnel de santé dans une chambre accueillant un patient ou résident unique. Les résultats de cette simulation ont montré des taux de $CO_2$ (moyens et médians) <1 300 ppm pour 13 des 14 chambres, suggérant une ventilation adéquate dans les 13 chambres pour la réalisation du soin étudié.

**Figure 2 – Représentation des taux de $CO_2$ mesurés avec le capteur et des taux de $CO_2$ estimés avec l'outil de calcul INRS (ppm).**




L'outil de simulation (référence Outil97) est proposé par l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (accessible à : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil97 ; consulté le 27-08-2026).

ppm : partie par million ; R2 : coefficient de détermination.

### Comment vérifier rapidement la conformité de la ventilation des chambres

Notre travail ouvre la perspective de pouvoir statuer de la conformité de la ventilation des chambres d'un service par la réalisation de mesures ponctuelles du taux de $CO_2$ de l'air ambiant. Une stratégie en trois étapes pourrait être mise en œuvre, ainsi déclinée : sélection de plusieurs chambres individuelles du service, réalisation de mesures du taux de $CO_2$ de l'air ambiant à l'extérieur de l'établissement, puis dans les chambres sélectionnées en présence humaine (un patient ou résident et un professionnel de santé au maximum) avec un appareil permettant des mesures ponctuelles du taux de $CO_2$ et répondant aux recommandations nationales [4,5] – dans ces cas, les mesures ne durent pas deux heures mais sont limitées à quelques minutes, le temps nécessaire

pour que le taux affiché par l'appareil soit stabilisé – et enfin utilisation de l'outil INRS pour estimer le taux de $CO_2$ dans l'air ambiant lors d'un soin courant d'une durée de 20 minutes comme nous l'avons fait en phase 3. Pour chaque chambre, les données à saisir dans l'outil comprennent la mesure du taux de $CO_2$ dans l'air ambiant extérieur, la mesure du taux de $CO_2$ dans l'air ambiant mesuré ponctuellement dans la chambre, le volume de la chambre (hauteur x surface en $m^3$) et le débit d'air neuf annoncé par le service technique de l'établissement (en $m^3/h$). L'outil de calcul délivre instantanément les données permettant le calcul des taux de $CO_2$ moyens et médians. Les chambres pour lesquelles les taux de $CO_2$ simulés (moyen et médian) sont <1 300 ppm peuvent être considérées comme ayant une ventilation suffisante ; à l'inverse, les taux >1 300 ppm doivent inciter à la recherche d'une panne du système de ventilation.

## Conclusion

Le nombre limité d'établissements participants et de chambres étudiées et le nombre important de facteurs pouvant influencer le taux de $CO_2$ de l'air ambiant dans les chambres occupées ont limité les analyses statistiques des données obtenues. Toutefois, les résultats de l'étude sont encourageants et permettent d'envisager l'utilisation de mesures ponctuelles du taux de $CO_2$ de l'air ambiant et de l'outil de calcul INRS pour investiguer facilement la conformité de la ventilation des chambres des établissements sanitaires et médico-sociaux. Des études complémentaires, toujours en conditions réelles, devraient être menées pour compléter ces premiers résultats, et pour définir la place de la stratégie proposée afin de faciliter l'application des nouvelles recommandations de prévention de la transmission respiratoire sur le terrain.

## Références


1- Tang JW, Li Y, Eames I, et al. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. J Hosp Infect. 2006;64(2):100-114.
2- Société française d'hygiène hospitalière. Recommandations pour la prévention de la transmission par voie respiratoire. Hygienes. 2024;32(4).
3- République française. Code du travail, chapitre II : Aération, assainissement (articles R4222-1 à R4222-26). JORF. 2008;(61). Accessible à : https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000018488858.
4- République française. Décret n° 2022-1690 du 27 décembre 2022 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public. JORF. 2022;(301). Accessible à : https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000046829352.
5- Haut Conseil de la santé publique (HCSP). Avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone dans l'air intérieur des établissements recevant du public [Internet]. Paris: HCSP; 2022. Accessible à : https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1154 (Consulté le 27-08-2026).
6- Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS). Ventilation et $CO_2$ : outil de calcul [Internet]. Paris: INRS; 2021. Accessible à : https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil97 (Consulté le 27-08-2026).



**Citation :** Réginaud N, Avice J, Covello A, Daridan N, Debaise F, Kernen L, Léger G, Millet H, Morange V, Petiteau A, Robin A, Serhane S, Thème H, van der Mee-Marquet N. Une méthode simple pour évaluer la qualité de l'air des chambres des patients et faciliter l'application des nouvelles recommandations nationales pour la prévention de la transmission par voie respiratoire. Hygiènes. 2026;34(5):344-352.

**Historique :** Reçu 6 juillet 2026 – Accepté 21 septembre 2026 – Publié 30 octobre 2026

**Financement :** les auteurs déclarent ne pas avoir reçu de financement.

**Liens d'intérêt :** les auteurs déclarent ne pas avoir de lien d'intérêt.

**Remerciements :** au Dr Houssein Gbaguidi Haoré (centre hospitalier universitaire de Besançon) pour son aide concernant le traitement statistique des données.