

AVIS

relatif à la mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'air intérieur des établissements recevant du public (ERP)

21 janvier 2022

La Direction générale de la santé a saisi le Haut Conseil de la santé publique le 24 novembre 2021 afin d'évaluer la pertinence de construire des valeurs d'aide à la gestion pour le CO₂ dans l'air des espaces clos des ERP, et le cas échéant de formuler des propositions de valeurs d'actions rapides, ainsi que des recommandations de stratégies de prélèvement et de mesure. La saisine porte sur :

- la fréquence de mesure du CO₂ et l'obligation prévue par le Plan national santé-environnement 2021-2025 (PNSE 4) de mesure à certains moments clés de la vie du bâtiment [1] ;
- les types de locaux des ERP qui devraient être concernés par la mesure du CO₂ (annexe 1).

La saisine fait référence à l'avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) de 2013 et à de précédents avis du HCSP à ce sujet [2 à 4].

Dans ce contexte, la Commission spécialisée des risques liés à l'environnement du HCSP a mis en place un groupe de travail constitué de cinq membres de la CSRE et de quatre experts extérieurs au HCSP (annexe 2).

1. Le HCSP rappelle les éléments suivants :

- Le dioxyde de carbone (CO₂) est une molécule produite par l'organisme humain au cours de la respiration. Sa concentration dans l'air intérieur des bâtiments peut être comprise entre 400 et 5000 ppm environ. En l'absence de source de combustion, elle est liée à l'occupation humaine et au renouvellement d'air.
- La concentration en CO₂ dans l'air intérieur est l'un des critères qui fondent la réglementation en matière d'aération des locaux. Le titre III des Règlements sanitaires départementaux (RSD) fixe ainsi, pour les bâtiments non résidentiels, un seuil en CO₂ de 1 000 ppm dans des conditions normales d'occupation, avec une tolérance à 1 300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer, sans fondement sanitaire explicite de ces deux valeurs (Anses, 2013) [2].
- Le décret du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants réalisées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public, prévoit le calcul d'un indice de confinement à partir d'une mesure en continu de la concentration de CO₂ dans l'air (indice ICONE).
- Plus généralement, la concentration en CO₂ est, avec le taux d'humidité, l'un des paramètres des modélisations qui ont conduit à définir les valeurs de débits de

ventilation ou de dimensionnement réglementaires, tant pour les logements^a que pour les bâtiments non résidentiels^b.

- Le déploiement récent de détecteurs de CO₂ a permis aux occupants des bâtiments d'avoir une mesure en temps réel des concentrations de CO₂ dans les locaux (annexe 3).

2. Le HCSP rappelle la construction et l'application de l'indice de confinement (ICONE) dans les établissements recevant un public sensible (crèches, écoles...).

L'indice de confinement de l'air dans les écoles (ICONE) a pour objectif d'évaluer le degré de confinement de l'air d'une pièce, qui mesure l'adéquation du renouvellement d'air au regard des conditions d'occupation. Il permet ainsi de comparer des situations avec différentes stratégies d'aération et de ventilation. Il est basé sur la mesure en continu du CO₂ sur une semaine scolaire avec un pas de temps défini de 10 min et calculé exclusivement sur les périodes pendant lesquelles le local est occupé (Ribéron *et al.*, 2016) [5].

L'indice ICONE prend en compte à la fois la fréquence des situations de confinement, mais également leur intensité en proposant deux seuils de valeurs de concentrations en CO₂, revenant ainsi à pratiquer une partition des valeurs en trois classes : valeurs inférieures au premier seuil (classe 0), valeurs entre les deux seuils (classe 1) et valeurs supérieures au second seuil (classe 2). Historiquement, la limitation des concentrations en CO₂ visait à satisfaire des exigences de confort olfactif. De façon similaire, l'indice de confinement de l'air est construit à partir d'une relation logarithmique utilisée en psychophysique entre l'intensité d'une sensation et la valeur du stimulus (modèle de Fechner) : $N = 8,3 \log(1+f_1+3f_2)$ aboutissant à un score compris entre 0 (confinement nul) et 5 (confinement extrême) (détail du mode de calcul dans Ribéron *et al.*, 2016) [5]. La valeur obtenue est arrondie à l'entier le plus proche pour catégoriser le confinement de l'air en 6 catégories (Tableau 1).

Les seuils limites des classes retenus pour l'indice ICONE sont 1 000 ppm et 1 700 ppm, qui encadrent la valeur réglementaire de 1 300 ppm du règlement sanitaire départemental type, fixée pour des locaux où il est interdit de fumer, ce qui est le cas aujourd'hui dans tous les établissements publics.

Indice ICONE Confinement de l'air intérieur	Fréquence des concentrations en CO ₂ dans l'air
0 = nul	100 % valeurs CO ₂ < 1000 ppm
1 = faible	1/3 valeurs > 1000 ppm mais < 1700 ppm
2 := moyen	2/3 valeurs > 1000 ppm mais < 1700 ppm
3 = élevé	2/3 valeurs > 1000 ppm dont 1/3 > 1700 ppm
4 = très élevé	2/3 valeurs > 1700 ppm
5 = extrême	100 % des valeurs > 1700 ppm

Tableau 1 : Correspondance entre l'indice ICONE, les concentrations en CO₂ et le niveau de confinement de l'air

L'indice de confinement est calculé sur une période d'intégration de 4,5 jours, non nécessairement consécutifs, de façon à être le plus représentatif de la situation à observer et permettre une comparaison avec d'autres locaux. De même, seules les conditions d'occupation habituelles sont prises en compte pour éviter d'intégrer à la comparaison des situations d'occupation exceptionnelles.

^a Arrêtés du 14 novembre 1958, du 22 octobre 1969 et du 24 mars 1982

^b Règlements sanitaires départementaux – Titre III

Dans les écoles, l'indice de confinement peut atteindre des valeurs de 4 (confinement très élevé) et de 5 (confinement extrême) en particulier dans certaines salles de classes d'écoles élémentaires (Tableau 2). Un indice de confinement de 5 correspond à des pics de concentration en CO₂ supérieurs à 4 000 ppm et à des valeurs moyennes pendant l'occupation supérieures à 2 000 ppm (Guide pratique de surveillance de la QAI dans les lieux accueillant des enfants, 2016) [6].

Indice ICONÉ Confinement de l'air intérieur	Répartition en % de la valeur la plus élevée de l'indice ICONÉ par établissement (Campagne nationale écoles, OQAI 2019)*	
	Ecoles maternelles	Ecoles élémentaires
0 = nul	5 %	1 %
1 = faible	13 %	2 %
2 := moyen	31 %	13 %
3 = élevé	29 %	29 %
4 = très élevé	21 %	48 %
5 = extrême	1 %	7 %

*Champ : parc des 65 660 écoles maternelles et élémentaires en France métropolitaine continentale entre 2013 et 2017

Tableau 2 : Répartition de la valeur la plus élevée de l'indice ICONÉ dans les écoles maternelles et élémentaires

Dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants, un indice de confinement de 4 (confinement très élevé) s'accompagne d'un message de sensibilisation destiné au maître d'ouvrage (Ribéron *et al.*, 2012) qui préconise [7] :

- de veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu ;
- de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation lorsque les salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation ;
- d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant la période d'occupation en l'absence de dispositif spécifique de ventilation.

Dans le cadre de la surveillance de la qualité de l'air dans les lieux accueillant des enfants, un indice de confinement de 5 (confinement extrême) s'accompagne du même message de sensibilisation destiné au maître d'ouvrage et d'une recommandation de mener toute expertise nécessaire pour identifier les causes du confinement extrême par le maître d'ouvrage ou l'exploitant de l'établissement (Ribéron *et al.*, 2012). En outre, il s'accompagne d'une information au préfet du département

3. Le HCSP a pris en compte :

a) Les recommandations de l'expertise collective de l'Anses sur les concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et ses effets sur la santé (2013) [1]

. « En appui à la gestion :

- Le Comité d'experts spécialisé (CES) rappelle que le CO₂ peut être utilisé comme un indicateur du confinement de l'air. Il recommande de s'appuyer sur la norme NF EN ISO 16000-26 pour la stratégie d'échantillonnage du CO₂ dans les environnements intérieurs.
- Le CES recommande de ne pas élaborer de Valeur guide de l'air intérieur (VGAI) pour le CO₂, que ce soit pour ses effets propres ou pour les effets du confinement sur la santé. Il insiste sur le fait que la seule mesure du CO₂ ne peut être considérée comme un indicateur de qualité sanitaire de l'air intérieur au vu des résultats de ces travaux qui montrent que :

- les données épidémiologiques disponibles ne permettent pas de construire de valeur seuil du CO₂ protégeant des effets du confinement sur la santé, sur la perception de confort ou sur la performance,
 - la probabilité de dépassement de valeurs cibles sanitaires (VGAI, Valeurs toxicologiques de référence, ou Valeurs guides de l'Organisation mondiale de la santé) pour les polluants chimiques de l'air intérieur n'est pas nulle même pour des concentrations de CO₂ réduites.
- Compte tenu des éléments ci-dessus, le CES recommande de réduire à la source les émissions de polluants dans l'air intérieur, en complément de l'amélioration de la ventilation.
 - Le CES recommande d'évaluer la pertinence de réviser la Valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) 8 h du CO₂, et notamment la pertinence d'élaborer une VLEP court terme.

-En termes de recherche, le CES recommande d'améliorer les connaissances concernant les éventuels effets propres au CO₂ :

- sur la performance psychomotrice (prise de décision, résolution de problèmes) aux faibles doses incluant des concentrations d'exposition inférieures ou égales à 1000 ppm, par exemple en répliquant l'étude de Satish *et al.* (2012) et en documentant le mécanisme d'action [8] ;
- sur la santé des populations plus sensibles ou plus exposées telles que les enfants, les femmes enceintes et les personnes présentant des affections pulmonaires ou cardiaques. »

b) Les publications récentes sur les performances cognitives et les concentrations de CO₂ dans les espaces clos

Dans son expertise collective de 2013, qui a également évalué le CO₂ comme indicateur de confinement, l'Anses a analysé les publications sur la performance et sur la perception de confort (annexe 4).

Il a été observé dans cette expertise une augmentation du syndrome des bâtiments malsains pour une journée de travail à des concentrations de CO₂ supérieures à 850 ppm (soit au-dessus de 450 ppm d'écart par rapport à l'extérieur), une augmentation de symptômes d'asthme chez l'enfant sur une journée d'école. Concernant les effets intrinsèques du CO₂, il est observé une altération de la performance psychomotrice en quelques heures à partir de concentrations de CO₂ de 1000 ppm (soit au-dessus de 600 ppm^c d'écart par rapport à l'extérieur) ainsi que l'apparition d'acidose pour une [CO₂] égale à 10000 ppm en 30 minutes .

Le travail de Satish *et al.* (2012), cité par l'Anses, a montré que comparé à la concentration de 600 ppm de CO₂, les résultats de plusieurs capacités cognitives sont 11 à 23 % inférieurs pour une concentration de 1000 ppm, et 44 à 94 % pour une concentration de 2 500 ppm. La diminution des capacités cognitives est particulièrement forte pour des concentrations en CO₂ > 2500 ppm, par exemple le niveau d'initiative [8].

Dans une approche considérant les composés organiques volatils (COVs) et le CO₂ comme polluants de l'air, Allen *et al.* (2016) ont montré que les fonctions cognitives baissent de 15 % entre un taux de CO₂ de ~590 ppm à environ ~940 ppm, et de 50 % entre un taux de CO₂ de ~590 ppm à ~1 400 ppm, alors que le taux de COVs est constant [9]. Toujours en 2016, Vehviläinen *et al.* ont montré qu'une atmosphère non ventilée avec concentration élevée de CO₂ (2 750 +/- 1 100 ppm) entraîne une augmentation de CO₂ dans le sang, ainsi qu'une modification du rythme cardiaque, de l'envie de dormir et des maux de têtes, en comparaison avec une atmosphère ventilée et une concentration plus faible en CO₂ (900 +/- 250 ppm) [10].

^c *Différentiel entre CO₂ de l'air intérieur et de l'air extérieur calculé à partir d'un niveau intérieur ≥1000 ppm et d'un niveau extérieur pris par défaut de 400 ppm

c) Les publications sur l'impact de la ventilation sur les infections respiratoires et l'intérêt des mesures de CO₂ (en complément des travaux de l'Anses de 2013)

L'impact de la ventilation sur les infections respiratoires et l'intérêt des mesures de CO₂ n'étaient pas l'objet de l'expertise collective de l'Anses de 2013.

Dans une revue de 2007, Li *et al.* indiquaient qu'il existe "des preuves fortes et suffisantes qui montrent le lien entre la ventilation, les mouvements d'air dans les bâtiments et la transmission des maladies infectieuses comme la rougeole, la tuberculose, la varicelle, la grippe, la variole, le Sars. Les données sont toutefois insuffisantes pour spécifier la ventilation minimale requise dans les hôpitaux, les écoles, les bureaux, les appartements et les chambres d'isolement." [11].

Plus récemment en 2020, Chun-Ru Du *et al.*, (2020) ont montré que, lors d'une épidémie de tuberculose dans une université taïwanaise, l'amélioration de la ventilation avait non seulement permis de diminuer la concentration en CO₂ de 3 200 ppm à 600 ppm, mais également permis d'arrêter l'épidémie dans l'université. Les auteurs estiment qu'il est nécessaire de maintenir une concentration inférieure à 1 000 ppm pour maîtriser une telle épidémie [12]. Toujours en milieu universitaire, S. Zhu *et al.* (2020) ont montré que le taux de maladies respiratoires aiguës est environ 4 fois plus faible dans le bâtiment bien ventilé (CO₂ mesuré à environ 1 200 ppm), comparé au bâtiment mal ventilé (soit 2 500 ppm de CO₂) [13].

Enfin les travaux de Brelih (2011) rapportent que les débits minimaux d'air en France dans les écoles et les salles de bain imposés par les lois ou les pratiques sont les moins exigeants parmi les pays européens [14].

d) La norme NF EN 16 798-1 (2019) sur la performance énergétique, la ventilation des bâtiments et la qualité de l'air intérieur [15]

Cette norme définit dans une annexe informative une classification à 4 niveaux avec des valeurs un peu différentes de la norme précédente NF EN 13779 (2007) et reprises dans la norme NF ISO 16814 (2010), en tenant compte des écarts avec l'extérieur [16, 17] (Tableau 3) :

Classe		Ecart avec l'extérieur ΔCO_2 (ppm)	Concentration de CO ₂ (ppm)
I	haute qualité	$\leq +550$	≤ 950
II	qualité moyenne	$\leq +800$	≤ 1200
III	qualité modérée	$\leq +1350$	≤ 1750
IV	qualité faible	$> +1350$	>1750

Tableau 3 : classification de la qualité de l'air, selon les écarts des concentrations de CO₂ par rapport à l'extérieur (400 ppm) – selon la norme NF EN 16 798-1 (2019)

La classe I convient aux personnes sensibles (enfants, personnes âgées, handicapées, etc.)

La classe II représente le niveau normal pour la conception et le fonctionnement.

La classe III représente une qualité d'ambiance encore acceptable mais avec un risque de performance réduite des occupants.

La classe IV convient d'être utilisé uniquement pendant une courte période de l'année ou dans des espaces à occupation de très courte durée.

La norme 16798 préconise un débit de ventilation de base des locaux basé sur une pollution de fond (hors occupant), puis un ajustement du débit tenant compte de l'occupation et enfin des exigences en termes de concentrations de CO₂ qui seront plus contraignantes dans les locaux à faible pollution liée aux matériaux (du fait que le débit d'air fourni y est plus faible).

La norme NF EN 16798-2 donne différentes valeurs seuils de CO₂ pour différents environnements selon le niveau de pollution et la catégorie attendue [17, 18].

4. Le HCSP considère que :

- L'élévation des concentrations en CO₂ est associée à une diminution des performances cognitives et à l'augmentation de la concentration d'agents infectieux aéroportés (en présence de personnes sources).
- La mesure du CO₂ et son exploitation peuvent être réalisées selon deux approches différentes :
 - o d'une part l'enregistrement en continu des concentrations en CO₂ par un organisme accrédité permettant le calcul différé de l'indice de confinement ICONE de l'air des espaces clos ;
 - o et d'autre part les mesures à lecture directe de détecteurs de CO₂ (chiffrées ou indicateur coloré) mises en œuvre par les usagers des locaux (annexe 3).
- L'indice ICONE s'accompagne classiquement d'autres mesures sur une semaine de polluants intérieurs avec analyse différée en laboratoire, dans le cadre de campagnes régulières de surveillance de la qualité de l'air intérieur (décret n°2012-14 du 5 janvier 2012) [19]. Il s'inscrit dans une évaluation des moyens de renouvellement de l'air des locaux occupés (dimensionnement, débits de ventilation, jauge d'occupation des espaces clos, priorisation des travaux à effectuer).
- La mesure à lecture directe des concentrations en CO₂ permet en temps réel la vérification du confinement de l'air des locaux occupés en exploitation dans leurs différents usages et, si nécessaire, de mener des actions rapides dans le cadre d'un plan d'aération et/ou de ventilation.
- Une concentration supérieure à 800 ppm de CO₂ doit conduire à agir en termes de renouvellement d'air par apport d'air neuf (aération/ventilation) et/ou de réduction du nombre de personnes admises dans les locaux d'un ERP, afin de maîtriser la transmission virale aéroportée du SARS-CoV-2 [3,4].
- Des travaux dans le bâtiment dont ceux de rénovation énergétique doivent prendre en compte des exigences liées aux conditions de renouvellement de l'air. Dans le cas contraire, ils peuvent dégrader la qualité de l'air intérieur. Ils nécessitent le respect des dispositions du Règlement Sanitaire Départemental type et un bilan des concentrations en CO₂ et des polluants ciblés avant et après les travaux.

5. Le HCSP recommande :

- De définir pour les établissements recevant du public^d :

Une valeur repère d'aide à la gestion pour une concentration de **800 ppm de CO₂** comme objectif d'un renouvellement de l'air satisfaisant des locaux occupés, par apport d'air neuf, en prenant en compte les performances cognitives des occupants et la dilution et l'élimination des polluants intérieurs, dont les agents infectieux aéroportés ;

Une valeur d'action rapide pour une concentration de **1 500 ppm**, témoignant d'un confinement de l'air non acceptable au regard des éléments de la littérature scientifique et nécessitant des actions correctives (diminution de la jauge d'occupation ou évacuation du local, modification des moyens techniques d'aération et de ventilation) (Logigramme en annexe 5).

^d Ces valeurs d'aide à la gestion pourront remplacer les valeurs de 1000 ppm et 1700 ppm utilisées jusqu'à présent pour le calcul de l'indice ICONE

- De dimensionner les stratégies d'aération et de ventilation et la jauge d'occupation des espaces clos des ERP par un enregistrement en continu des concentrations en CO₂, sur une période d'occupation d'une semaine permettant de calculer un indice de confinement ICONNE, avec un objectif de confinement nul (0) ou faible (1) selon les valeurs d'aide à la gestion proposées ci-dessus.
- D'utiliser un détecteur de CO₂ dans un local occupé selon les recommandations définies dans l'annexe 3, afin de s'assurer en temps réel des conditions de renouvellement de l'air en fonction des usages et de mettre en œuvre des actions correctives si nécessaire (augmentation de l'aération, des débits de ventilation, diminution de la jauge d'occupation) en cas de dépassement de la valeur repère d'aide à la gestion du CO₂.
- De mettre en place un programme national de certification des détecteurs de CO₂ en appui des caractéristiques techniques présentées dans l'annexe 3.
- De mettre en œuvre en priorité des mesures de CO₂ et de polluants ciblés dans les locaux régulièrement occupés des catégories d'établissements recevant du public mentionnées dans le décret n° 2015-1000 du 17 août 2015 ainsi que les établissements de santé, les locaux d'enseignement supérieur, les locaux de restauration et débits de boissons et les discothèques non mentionnés dans le décret (annexe 6) [20].
- De considérer comme moments clés de la vie du bâtiment pour la mesure des concentrations en CO₂ dans les ERP :
 - o Les travaux du bâtiment dont ceux de rénovation énergétique qui peuvent modifier les conditions du renouvellement de l'air des locaux (utilisation de l'indice ICONNE)
 - o Les changements de jauge d'occupation et/ou d'activité dans des locaux qui peuvent accroître les concentrations en CO₂ (utilisation d'un détecteur de CO₂)
- Par ailleurs, le HCSP recommande de poursuivre les recherches et le développement de formations sur les relations entre les concentrations de CO₂, la qualité de l'air intérieur et le risque infectieux aéroporté.

Références

1. Ministère de la transition écologique, Ministère des solidarités et de la santé. Plan national santé-environnement 2021-2025 (PNSE 4) « Un environnement, une santé » Disponible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/plan-national-sante-environnement-pnse>, consulté le 21/01/2022
2. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Avis et rapport d'expertise collective relatifs aux concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et aux effets sur la santé. Juillet 2013. Disponible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2012sa0093Ra.pdf>, consulté le 21/01/2022
3. Haut Conseil de la santé publique. Avis du 22 novembre 2020 relatif à une proposition de protocole sanitaire renforcé pour les commerces dans le contexte de l'épidémie Covid-19 Disponible sur : <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=946>, consulté le 21/01/2022
4. Haut Conseil de la santé publique. Avis du 28 avril 2021 relatif à l'adaptation des mesures d'aération, de ventilation et de mesure du dioxyde de carbone (CO₂) dans les établissements recevant du public (ERP) pour maîtriser la transmission du SARS-CoV-2 Disponible sur : <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1009>, consulté le 21/01/2022
5. Riberon J, Ramalho O, Derbez M. Indice de confinement de l'air intérieur : des écoles aux logements. Pollution atmosphérique. 2016;228. Disponible sur : <http://odel.irevues.inist.fr/pollutionatmospherique/index.php?id=5466>, consulté le 21/01/2022
6. Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer. La surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants. Le rôle des collectivités locales et des gestionnaires de structures privées. Le dispositif réglementaire 2018-2023. Juin 2016. Disponible sur : http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/surveillance_de_la_qualite_de_l_air_enfants_2018-2023_-_collectivites_juin_2016.pdf, consulté le 21/01/2022
7. Riberon J, Ramalho O, Mandin, Cochet V. Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs. Centre scientifique et technique du bâtiment. Mai 2012. Disponible sur : https://www.testoon.com/Fichier/A/FICHER_LIE_A_62496.pdf, consulté le 21/01/2022
8. Satish U, Mendell MJ, shekhar K *et al.* Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. Environ Health Perspect. 2012 Dec; 120(12): 1671-1677. Published online 20 September 2012. doi: 10.1289/ehp.1104789 Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3548274/>, consulté le 21/01/2022
9. Allen JC, MacNaughton P, Satish U *et al.* Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: A controlled exposure study of green and conventional office environments. Environ Health Perspect. 2016 Jun; 124(6): 805-812. Published online 26 October 2015. doi:10.1289/ehp.1510037 Disponible sur : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4892924/>, consulté le 21/01/2022

10. Vehviläinen T, Lindholm H, Rintamäki H *et al.* High indoor CO₂ concentrations in an office environment increases the transcutaneous CO₂ level and sleepiness during cognitive work. *J Occup Environ Hyg.* 2016;13(1):19-29. doi: 10.1080/15459624.2015.1076160.
11. Li Y, Leung GM, Tang JW *et al.* Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment – a multidisciplinary systematic review. *Indoor air.* 2007; 17(1):2-18. First published: 25 January 2007. doi:10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x Disponible sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x>, consulté le 21/01/2022
12. Du CR, Wang SC, Yu MC *et al.* Effect of ventilation improvement during a tuberculosis outbreak in underventilated university buildings. *Indoor Air.* 2020 May; 30(3): 422-432. First published: 28 December 2019. doi:10.1111/ina.12639 Disponible sur : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ina.12639>, consulté le 21/01/2022
13. Zhu S, Jenkins S, Addo K *et al.* Ventilation and laboratory confirmed acute respiratory infection (ARI) rates in college residence halls in College Park, Maryland. *Env Int.* 2020;137. Disponible sur : <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105537>, consulté le 21/01/2022
14. Brelih N. Ventilation rates and IAQ in european standards and national regulations. AIVC conference Oct 12-13, 2011, Brussels, Belgium.
15. NF EN 16798-1 (2019) Performance énergétique des bâtiments – Ventilation des bâtiments – Partie 1 : données d'entrée d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique (Module M1-6)
16. NF EN 13779 (2007) Ventilation des bâtiments non résidentiels – Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de conditionnement d'air
17. NF ISO NF ISO 16814 (2010) Conception de l'environnement des bâtiments : Qualité de l'air intérieur – Méthodes d'expression de la qualité de l'air intérieur pour une occupation humaine.
18. FD CEN/TR 16798-2 Performance énergétique des bâtiments – Ventilation des bâtiments – Partie 2 : interprétation des exigences de l'EN 16798-1 – Données d'entrées d'ambiance intérieure pour la conception et l'évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, l'ambiance thermique, l'éclairage et l'acoustique
19. 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 Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000025105291/>, consulté le 21/01/2022
20. Décret n° 2015-1000 du 17 août 2015 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000031052712>, consulté le 21/01/2022

Annexe 1 : saisine de la Direction générale de la santé



SOUS-DIRECTION PRÉVENTION DES RISQUES LIÉS
À L'ENVIRONNEMENT ET À L'ALIMENTATION
BUREAU DE L'ENVIRONNEMENT INTÉRIEUR, DES MILIEUX DU TRAVAIL,
ET DES ACCIDENTS DE LA VIE COURANTE (EACZ)
Affaire suivie par : Maria AGALLAL / Sébastien GORECKI
Tél : 01 40 56 55 45 / 01 40 56 55 51
Mail : maria.agallal@sante.gouv.fr
sebastien.gorecki@sante.gouv.fr

Nos réf. : D-21-026661 / 67
Vos réf. : -



Direction générale de
la santé

24 NOV. 2021

Le Directeur général de la santé

à

Monsieur Franck CHAUVIN
Président
Haut Conseil de la santé publique

Objet : Saisine relative à la mesure du taux de dioxyde carbone (CO₂) dans le cadre de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans certains établissements recevant du public (ERP)

La concentration en CO₂ dans l'air intérieur est l'un des paramètres à la base de la réglementation en matière d'aération des locaux, avec en particulier :

- le titre III des Règlements sanitaires départementaux (RSD) qui fixe un seuil en CO₂ de 1000 ppm pour les bâtiments non résidentiels, avec une tolérance à 1300 ppm dans les locaux où il est interdit de fumer ;
- la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur (QAI) portée par le code de l'environnement (CE)¹ qui prévoit le calcul d'un indice de confinement dit « ICONE » (indice de CONfinement d'air dans les Ecoles), à partir d'une mesure en continu de la concentration de CO₂ dans l'air.

Comme le souligne l'Anses dans son expertise de juillet 2013² relative aux concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et leurs effets sur la santé, l'ensemble des normes et réglementations de la qualité du renouvellement de l'air intérieur (dont celles citées plus haut) n'a pas nécessairement été établi sur des critères sanitaires. Dans cette expertise, l'Anses recommande par ailleurs de ne pas élaborer de valeur-guide de qualité de l'air intérieur (VQAI) pour le CO₂, que ce soit pour ses effets propres ou pour les effets du confinement sur la santé.

Toutefois, il apparaît particulièrement nécessaire de disposer de valeurs de gestion pour le CO₂ dans l'air intérieur, notamment à des fins de surveillance réglementaire, considérant le contexte actuel suivant :

1. la mesure du taux de CO₂ est rendue obligatoire à certains moments clés de la vie du bâtiment par l'action 14 (4^{ème} partie) du Plan National Santé-Environnement 4 (PNSE4) qui prévoit en ce sens une évolution du dispositif réglementaire de surveillance de la QAI dans les ERP³ ;
2. la question de l'utilisation de l'indice ICONE comme outil de gestion du risque de confinement se pose particulièrement considérant que :
 - o l'indice ICONE a été initialement élaboré en 2007 par le Centre scientifique et techniques du bâtiment pour les écoles et les crèches, or le dispositif réglementaire de la surveillance

¹ Décret du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants réaérés au titre de la surveillance de la QAI de certains ERP

² Avis de l'Anses de juillet 2013 - Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé

³ Le PNSE4 prévoit également une évaluation annuelle des moyens d'aération (au lieu de tous les 7 ans) et la réalisation d'un auto-diagnostic régulier de la QAI à réaliser au cours du temps.

de la QAI portée sur un champ plus large d'ERP (cf article R. 221-30 du code de l'environnement) dont les locaux peuvent notamment présenter des conditions d'occupation différentes :

- o il serait utile de réinterroger la pertinence de la construction de l'indice ICONE car cet indice est fondé sur la fréquence de dépassement en CO₂ par rapport à deux seuils, 1000 et 1700 ppm, qui encadrent la valeur de tolérance de 1300 ppm du RSD. Or, comme l'a récemment rappelé le HCSP⁴ : « hors crise sanitaire, le CO₂, mesuré en plusieurs points des locaux, ne doit pas dépasser la valeur de 1000 ppm qui est la valeur normale acceptable dans un lieu recevant du public ».
- o l'indice ICONE s'appuie sur une mesure en continu du CO₂ effectuée sur une durée de 4,5 jours et son calcul nécessite une exploitation statistique des résultats : l'appréciation du niveau de confinement a donc lieu en différé par rapport à l'acquisition de la mesure. Cette configuration peut être rediscutée à la lumière des acquis de la crise pandémique de la COVID-19. En effet, le HCSP recommande dans le contexte sanitaire actuel d'apprécier le taux de renouvellement de l'air par la mesure du taux de CO₂, avec l'utilisation de capteurs de CO₂ permettant une lecture immédiate et, le cas échéant, le déploiement d'actions rapides telles que la non-occupation du local, une action sur l'aération/renouvellement d'air ou la réduction de la jauge d'accueil.⁵ En pratique, suite à cette recommandation, il est observé sur le terrain une augmentation de l'acquisition de capteurs de CO₂ et, en lien, le développement d'une pratique de la mesure du CO₂ plus réactive quant à son interprétation.

Au vu de ces éléments, je vous demande d'évaluer la pertinence de construire des valeurs repères d'aide à la gestion pour le CO₂ dans l'air des espaces clos des ERP, et le cas échéant de formuler des propositions, notamment de valeur d'action rapide pouvant être utilisée pour l'application du 2° du III de l'article R. 221-30 du CE, ainsi que des recommandations de stratégie de prélèvement et de mesure. Des propositions sont notamment attendues sur la fréquence de mesure du CO₂, avec en particulier des éléments de réponse aux questions suivantes, liées à l'obligation prévue par le PNSE4 de mesure à certains moments clés de la vie du bâtiment :

- pour quels moments clés de la vie du bâtiment la mesure du taux de CO₂ est-elle utile ?
- la notion de « moments clés de la vie du bâtiment » du PNSE4 entendue comme étant la construction et les aménagements ou rénovations majeurs, doit-elle comprendre certaines situations d'occupation particulières du bâtiment (le taux de CO₂ étant corrélé aux conditions d'occupation) ?
- serait-il utile de réaliser en complément une mesure du CO₂ lors de l'évaluation annuelle des moyens d'aération ?

Des propositions sont également attendues sur les types de locaux d'ERP qui devraient être concernés par la mesure réglementaire du CO₂ (ex : locaux d'enseignement, de restauration, d'hébergement, à usage sportif, etc ...).

Les travaux de réécriture du dispositif réglementaire de la surveillance obligatoire de la QAI dans les ERP étant en cours, et compte tenu des délais contraints, je souhaite pouvoir bénéficier d'une réponse au plus tard le 24 janvier, avec des recommandations opérationnelles permettant leur formulation en dispositions réglementaires dans les meilleurs délais. Cette saisine pourra être complétée dans un second temps par un volet portant sur les perspectives d'évolution de la surveillance obligatoire de la QAI dans les ERP.


 Jérôme SALOMON

Cc@te : Monsieur Cécile BOURILLET - Directeur général de la prévention des risques

⁴ Avis du HCSP du 23 novembre 2020 : Covid-19 : avis sur le protocole sanitaire renforcé proposé pour les commerces (p. 14)

⁵ Avis du HCSP du 28 avril 2021 : Covid-19 : aération, ventilation et mesure du CO₂ dans les ERP.

Annexe 2 : Composition du groupe de travail ayant élaboré ces recommandations

Membres qualifiés de la Commission spécialisée « Risques liés à l'environnement » du HCSP

- Luc FERRARI
- Francelyne MARANO, présidente de la CS-RE
- Nicolas ROCHE
- Jean-Louis ROUBATY, co-président du GT
- Fabien SQUINAZI, vice-président de la CS-RE, président du GT

Experts extérieurs au HCSP

- Pascal MORENTON, Ecole Centrale Supélec
- François PETRELIS, UMR 8023 CNRS, Laboratoire de physique de l'Ecole normale supérieure
- Olivier RAMALHO, Direction santé confort, Centre scientifique et technique du bâtiment
- Benoît SEMIN, UMR 7636 CNRS, Ecole supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris

Secrétariat général du HCSP

- Yannick PAVAGEAU

Annexe 3. Conseils pour la mise en place de la mesure du CO₂ par détecteur

Terminologie

Dans la présente annexe, nous utiliserons indifféremment les termes de « Détecteur de CO₂ » ou « Capteur de CO₂ » pour désigner un système capable de quantifier le taux de CO₂ présent dans l'air ambiant d'un local d'usage général, selon des exigences qui sont précisées ci-après.

Choix de la technologie du capteur

Il est recommandé l'utilisation de détecteurs de CO₂ basé sur le principe de la spectrométrie d'absorption infrarouge non dispersif, appelés aussi « NDIR » (Non Dispersive Infrared), ou simplement détecteurs infrarouge. Il s'agit d'une technologie fiable et éprouvée de mesure du CO₂. Les caractéristiques techniques du produit doivent mentionner explicitement l'utilisation de tels capteurs.

Des capteurs à technologie dite « photo-acoustique » commencent à équiper certains détecteurs de CO₂ professionnels ou « grand public » à lecture instantanée. Cette technologie semble intéressante et les systèmes en étant pourvus pourront être retenus s'ils atteignent des performances équivalentes aux capteurs NDIR, telles que définies dans le présent avis.

Nous déconseillons très fortement d'utiliser des produits basés sur d'autres technologies notamment ceux déduisant, par le calcul, un taux de CO₂ en mesurant un taux de composés organiques volatils présents dans l'air (technologie dite « MOX »). Ces produits ne constituent pas des détecteurs de CO₂ et renvoient le plus souvent des valeurs erronées voire fantaisistes du taux de CO₂. Ils sont à proscrire.

Étalonnage

Il est indispensable que le détecteur soit correctement étalonné. Cela peut être réalisé de deux façons :

- le fabricant ou un prestataire qualifié étalonne le produit et délivre un certificat l'attestant et qui précise la méthode d'étalonnage suivie et sa durée de validité ; cela peut être effectué en usine ou dans le cadre d'une maintenance sur site,
- l'utilisateur étalonne lui-même le détecteur en l'exposant à l'extérieur et en réalisant ce qui est nommé un étalonnage manuel ; dans ce cas, la procédure à suivre doit être clairement indiquée dans le manuel d'utilisation.

Dans tous les cas, une bonne pratique est de vérifier le bon étalonnage d'un détecteur à réception, en l'exposant à l'extérieur pendant 15 à 30 mn et vérifier que la mesure se situe bien de 400-450 ppm, ce qui est le taux usuel en plein air, hors pics de pollution et conditions particulières (voir ci-dessous).

Certains modèles disposent d'un mécanisme logiciel appelé « étalonnage automatique » qui permet à l'appareil de compenser d'éventuelles dérives de son étalonnage. Nous considérons que ce mécanisme ne peut suffire à lui seul à garantir un bon étalonnage de l'appareil. En effet, pour qu'il soit opérant, un étalonnage automatique doit bénéficier de conditions favorables pendant un temps long (souvent plusieurs jours). Or ces conditions ne sont pas toujours rencontrées et l'étalonnage automatique ne peut alors fonctionner. En conclusion, les détecteurs ne proposant qu'un étalonnage automatique (versus un étalonnage manuel ou en usine) ne sont pas recommandés.

Valeur de référence d'un étalonnage manuel

La valeur du taux de CO₂ mesuré à l'extérieur est en général située entre 400-450 ppm. Mais certaines situations peuvent entraîner une augmentation sensible de cette valeur, c'est le cas notamment dans les zones fortement urbanisées et dans des conditions météorologiques particulières (absence de vent) favorisant la stagnation de la pollution. On prendra soin donc, autant que faire se peut, de réaliser un étalonnage manuel dans des zones où la pollution de l'air est moindre, en s'écartant par exemple des grands axes routiers ou autoroutiers.

Domaine et Incertitude de mesure

Le domaine de mesure, c'est-à-dire les valeurs minimales et maximales du taux de CO₂ mesurables par le détecteur doit être de, à minima :

0 à 5000 ppm.

L'incertitude de mesure est celle spécifiée dans le décret N° 2012-14 du 5 Janvier 2012 modifié par le décret 2015-1926 du 30 Décembre 2015. L'incertitude de mesure caractérise la dispersion de la valeur mesurée et elle doit être au maximum de :

+/- (50 ppm + 5% de la valeur lue)

Il convient donc d'interpréter toute mesure du taux de CO₂ en considérant l'incertitude de mesure associée. Par exemple, une valeur vraie du taux de CO₂ dans un local de 800 ppm peut correspondre à une valeur mesurée par le détecteur comprise entre 710 et 890 ppm.

Interface avec l'utilisateur

La mesure peut être présentée sous différentes formes :

- l'affichage du taux de CO₂ exprimé en ppm sur un écran,
- l'utilisation d'indicateurs colorés, souvent au nombre de 3 qui sont alors appelés « Feux tricolores » ; ceux-ci indiquent que le taux de CO₂ se trouve dans un domaine donné (typiquement : sous 800ppm, entre 800 et 1000 ppm, au-delà de 1000 ou 1500 ppm, ...). Ces seuils peuvent être réglés par le fabricant ou par l'utilisateur ; dans tous les cas, il convient de s'assurer que la valeur des seuils correspond aux recommandations d'usage des locaux où la mesure s'effectuera.

L'ensemble du domaine de mesure doit être affiché y compris pour les mesures sous 400 ppm pour permettre d'identifier un éventuel problème d'étalonnage.

Fréquence de l'affichage

Les détecteurs ne mesurent pas la concentration en CO₂ de manière instantanée. Il faut que l'air que l'on mesure ait le temps de remplir complètement la zone du capteur dédiée à la mesure puis que l'appareil ait le temps d'effectuer la mesure proprement dite.

Concernant la lecture directe en temps réel de la concentration en CO₂ :

Les détecteurs proposent une fréquence minimale d'affichage de la mesure qui est très souvent de 1 mn. Cela permet d'avoir une bonne visibilité de l'augmentation du taux de CO₂ dans des locaux particulièrement confinés où l'on peut dépasser le premier seuil recommandé (800 ppm par exemple) après seulement 5 à 10 mn. Lors des premières mesures dans un local dont les caractéristiques de confinement ne sont pas encore connues, nous conseillons d'utiliser la fréquence d'affichage la plus élevée pour avoir un bon aperçu de la cinétique d'augmentation du taux de CO₂. Un pas d'affichage de 1 mn est bien adapté à cet usage. A défaut un pas de 5 mn peut être utilisé.

Concernant l'enregistrement continu du CO₂ en vue de constituer un indice ICONE,

Une fréquence d'affichage n'est pas requise mais un pas de temps de 10 minutes peut être proposé.

Position.

Dans une salle, le détecteur de CO₂ doit être placé entre 1 m et 2 m de hauteur, ce qui correspond à la hauteur de la couche d'air que nous respirons. Pour mesurer une valeur représentative, il doit être placé loin des entrées et sorties d'air, y compris des portes ou fenêtres ouvertes, et ne pas être placé dans l'écoulement d'air entre les ouvrants.

Il ne doit pas être mis à proximité immédiate de la bouche d'une personne. Comme la plupart des appareils électroniques, il faut éviter de le placer à proximité immédiate d'une source intense de chaleur (chauffage). Il est par exemple possible de placer le détecteur sur un mur ou sur un bureau.

Documentation

Un détecteur de CO₂ doit être livré avec un mode d'emploi clair et en français, mentionnant la technologie de mesure utilisée, le mode d'étalonnage, les incertitudes, les précautions d'emploi, le réglage des différents paramètres, la maintenance à réaliser et la durée de vie du produit.

Annexe 4 – Extrait du rapport de l'Anses relatif aux concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et aux effets sur la santé - Mise en perspective à titre indicatif de : valeurs de classement de la qualité de l'air intérieur, valeurs associées à des effets sur la santé dans la littérature scientifique, et valeurs limites d'exposition professionnelle

Anses • rapport d'expertise collective
Saisine « 2012-SA-0063 »

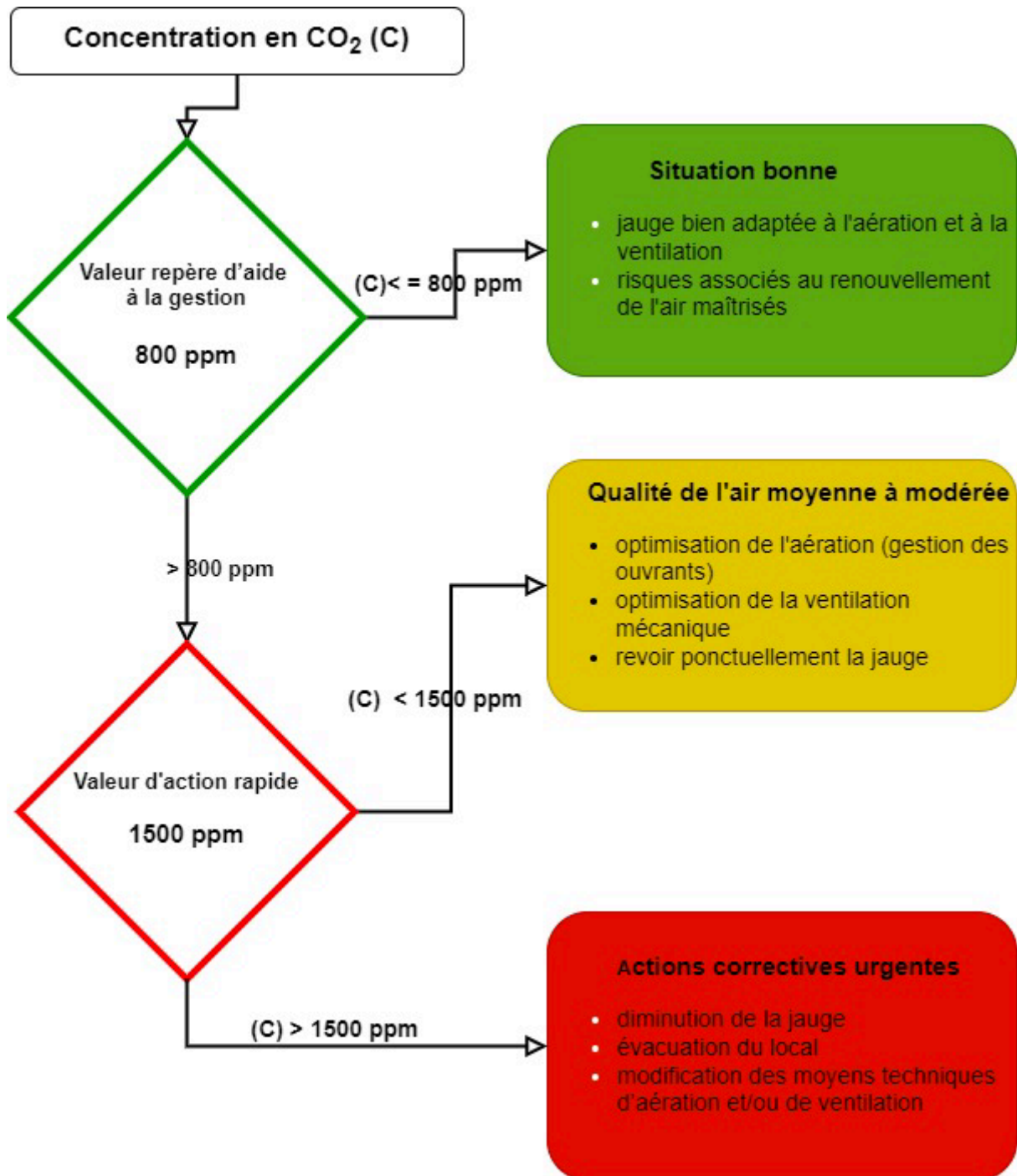
valeurs de classement de la qualité de l'air intérieur – Mise en perspective à titre indicatif de :
Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur, valeurs associées à des effets sur la santé dans la littérature scientifique, et valeurs limites d'exposition professionnelle

Mise en perspectives avec :		les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)
Différentiel de concentrations de CO ₂ de l'air intérieur et de l'air extérieur utilisé pour le classement de la qualité de l'air intérieur selon la norme NF EN 13779	les concentrations de CO ₂ ou différentiels de concentrations de CO ₂ entre l'air intérieur et l'air extérieur issues des études épidémiologiques ou toxicologiques	
Qualité de l'air intérieur excellente $d [CO_2] \leq 400 \text{ ppm}$		
$d [CO_2]$ entre 400 et 600 ppm Qualité de l'air intérieur moyenne	$[CO_2] \geq 850 \text{ ppm}$ ou $d [CO_2] \geq 450 \text{ ppm}$ Plage correspondant en moyenne sur une journée de travail à une augmentation de symptômes du SBS dans des bureaux.	
$d [CO_2]$ entre 600 et 1000 ppm Qualité de l'air intérieur modérée	$[CO_2] \geq 1000 \text{ ppm}$ ou $d [CO_2] \geq 600 \text{ ppm}^*$ Plage correspondant à : - une augmentation de symptômes de l'asthme chez l'enfant, en moyenne sur une journée d'école - une altération suspectée de la performance psychomotrice due au CO ₂ seul chez l'adulte, en moyenne sur quelques heures (une seule étude)	
$d [CO_2] > 1000 \text{ ppm}$ Qualité de l'air intérieur basse		$[CO_2]$ égale à 5000 ppm Concentration moyenne sur 8 heures (VLEP 8h) utilisée comme valeur limite d'exposition professionnelle en France et à l'étranger
		$[CO_2]$ égale à 10000 ppm Concentration correspondant sur au moins 30 minutes à l'apparition d'acidose respiratoire due au CO ₂ seul (un des premiers effets critiques) chez l'adulte sain avec une charge physique modérée
		$[CO_2]$ comprise entre 10000 et 30000 ppm Intervalle des concentrations court terme (VLCT ou VLE) utilisées comme valeurs limites d'exposition professionnelle à l'étranger (aucune valeur pour la France)

*Différentiel entre CO₂ de l'air intérieur et de l'air extérieur calculé à partir d'un niveau intérieur $\geq 1000 \text{ ppm}$ et d'un niveau extérieur pris par défaut de 400 ppm

Anses 2013

Annexe 5 – Logigramme proposé par le HCSP pour l'aide à la gestion



Annexe 6 – Liste d'établissements mentionnés dans le décret n° 2015-1000 du 17 août 2015 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (extrait)

Les catégories d'établissements concernées par cette obligation sont les suivantes :

- « 1° Les établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de six ans ;
- « 2° Les accueils de loisirs mentionnés au 1° du II de l'article R. 227-1 du code de l'action sociale et des familles ;
- « 3° Les établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du premier et du second degré ;
- « 4° Les structures sociales et médico-sociales rattachées aux établissements de santé visés à l'article L. 6111-1 du code de la santé publique ainsi que les structures de soins de longue durée de ces établissements ;
- « 5° Les établissements mentionnés aux 1°, 2°, 4°, 6°, 7°, 12° du I de l'article L. 312-1 du code de l'action sociale et des familles ;
- « 6° Les établissements pénitentiaires pour mineurs, quartiers des mineurs des maisons d'arrêt ou des établissements pour peines mentionnés à l'article R. 57-9-9 du code de procédure pénale ;
- « 7° Les établissements d'activités physiques et sportives couverts dans lesquels sont pratiquées des activités aquatiques, de baignade ou de natation.

*Avis rédigé par un groupe d'experts, membres ou non du Haut Conseil de la santé publique.
Validé le 21 janvier 2022 par la Commission spécialisée des risques liés à l'environnement.*

La CSRE s'est réunie le 21 janvier 2022 : 15 membres qualifiés votant sur 21 membres qualifiés étaient présents, 0 conflit d'intérêt ; le texte a été approuvé par 15 votants, 0 abstention, 0 vote contre.

Le 21 janvier 2022

Haut Conseil de la santé publique

14 avenue Duquesne

75350 Paris 07 SP

www.hcsp.fr