


Recommandations pour la mise en pratique et le contrôle de la ventilation et de la qualité de l'air intérieur dans le contexte de la pandémie de COVID-19

Task Force "Ventilation"
Version 2.0 – 12 juillet 2021



Ce texte a été rédigé par la Task Force Ventilation du Commissariat Corona.

Membres du groupe de travail :

Sara Benoy (Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid)
Ann Beusen (VIPA)
Pierre-Yves Badot (Régie des Bâtiments)
Benjamin Bienfait (SPF Économie)
Pieter Bolle (SPF ETCS)
Samuel Caillou (CSTC)
Niels De Kempeneer (Région flamande – Département Environnement)
Arnold Janssens (UGent)
Jelle Laverge (UGent)
Yannick Paulet (Centre régional de Crise de Wallonie)
Marianne Stranger (VITO)
Sofie Vandenbroeck (Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid)
Mart Verlaek (Région flamande - Département Environnement)
Peter Wouters (CSTC)

Ont été impliqués via le groupe de pilotage :

Bart Bautmans (Région flamande)
Amaury Bertholome (Fédération Wallonie-Bruxelles)
Loic Bosson (Fédération Wallonie-Bruxelles)
Stijn Callebaut (Région flamande)
Guillaume Creusat (Bozar)
Christophe Delepine (AVIQ)
Brecht De Vos (Sport Vlaanderen)
Manu Dierckx (Région flamande)
Jean-Marie Dochy (Commissariat Corona)
Marc Francaux (UCLouvain)
Thomas Gilson (Fédération Wallonie-Bruxelles)
Milis Gonzague (autorités wallonnes)
Vincent Hitabatuma (Fédération Wallonie-Bruxelles)
Anthony Kets (Région flamande)
Cindy Lemoine (Fédération Wallonie-Bruxelles)
Eric Lambert (Régie des Bâtiments)
Carl Maschietto (Service public de Wallonie)
Erik Smeets (Agentschap Facilitair Bedrijf, autorités flamandes)
Nathalie Snackers (Gouvernement de la Communauté germanophone)
Ellen Thielens (Région flamande)
Myriam Vanderlinden (AVIQ)
Kim Vanderpoorten (Département Culture, Jeunesse et Médias, autorités flamandes)
Stephane Vanreppelen (Bozar)
Alfred Volckaerts (SPF ETCS)
Pierre Wilquet (Fédération Wallonie-Bruxelles)
Joerg Zimmerman (DGov)

TABLE DES MATIÈRES

1.	MODIFICATIONS PAR RAPPORT À LA VERSION PRÉCÉDENTE	3
2.	INTRODUCTION.....	3
3.	VENTILATION, CO ₂ ET COVID-19	6
4.	PLAN DE MISE EN ŒUVRE.....	7
4.1	ÉTAPE 0 : Ouvrez les fenêtres et/ou les portes extérieures si possible	9
4.2	ÉTAPE 1 : Informations sur les activités.....	10
4.3	ÉTAPE 2 : Disposez-vous d'un système de ventilation mécanique ?	11
4.4	ÉTAPE 3 : Analyse de l'installation de ventilation mécanique.....	11
4.4.1	ÉTAPE 3.1 : Débit d'air frais connu dans le cadre du Code du bien-être au travail.....	12
4.4.2	ÉTAPE 3.2 : Détermination du débit d'air neuf par mesure directe.....	12
4.4.3	ÉTAPE 3.3 : Estimation de la capacité et/ou des débits nominaux sur la base des mesures de CO ₂	12
4.5	ÉTAPE 4 : Détermination de la capacité nominale selon le débit de ventilation	13
4.6	ÉTAPE 5 : Disposez-vous d'un appareil de mesure du CO ₂ ?	14
4.7	ÉTAPE 6 : y a-t-il au moins un capteur de CO ₂ par local ?	14
4.8	ÉTAPE 7 : Surveillance permanente de la concentration en CO ₂	14
4.9	ÉTAPE 8 : La concentration en CO ₂ est-elle rarement supérieure à 900 ppm ?	14
4.10	ÉTAPE 9 : Dispositions en cas de valeurs CO ₂ élevées avec des mesures permanentes..	15
4.11	ÉTAPE 10 : Mesures aléatoires de la concentration en CO ₂	15
4.12	ÉTAPE 11 : Les concentrations en CO ₂ mesurées aléatoirement sont-elles suffisamment basses ?.....	15
4.13	ÉTAPE 12 : Dispositions si les valeurs de CO ₂ relevées aléatoirement ne sont pas assez basses	16
4.14	ÉTAPE 13 : Gardez toujours les fenêtres et les portes ouvertes	16
4.15	ÉTAPE 14 : Actions si la situation est OK.....	17
4.16	ÉTAPE 15 : Plan d'action pour l'amélioration des dispositifs de ventilation	18
4.17	ÉTAPE 16 : Purification de l'air	18
5.	CHECKLIST	21
	ANNEXE 1 : CHECKLIST.....	0
	ANNEXE 2 : CONSEILS VISANT À ENCOURAGER L'ADOPTION DES BONNES PRATIQUES	0
	ANNEXE 3 : OUTIL BSOH POUR LA PRÉDICTION DE L'ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN CO ₂	1
	ANNEXE 4 : DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ NOMINALE AVEC FENÊTRES ET PORTES EXTÉRIEURES OUVERTES.....	3
	ANNEXE 5 : DÉTERMINATION DU DÉBIT DE VENTILATION OU DE LA CAPACITÉ NOMINALE SUR LA BASE DES MESURES DE CO ₂	7
	ANNEXE 6 : CODE SUR LE BIEN-ÊTRE AU TRAVAIL	9
	ANNEXE 7 : ESTIMATION DU RISQUE DE CONTAMINATION ET SITUATIONS SPÉCIFIQUES	11
	ANNEXE 8 : NIVEAUX DE CO ₂ ADMIS EN CAS DE COMBINAISON DE LA VENTILATION ET DE LA PURIFICATION DE L'AIR.....	12
	ANNEXE 9: TAUX DE VENTILATION	15
	ANNEXE 10 - VENTILATION AVEC PORTES ET FENÊTRES - COMMENT PROCÉDER ?.....	20
	ANNEXE 11 : DOCUMENTS ET LIENS UTILES.....	23
	ANNEXE 12 : SYMBOLES, UNITÉS ET DÉFINITIONS	26

1. Modifications par rapport à la version précédente

Les principales modifications par rapport à la version précédente sont les suivantes :

- Dans l'introduction, le risque de transmission par aérosol est indiqué. La ventilation est l'une des mesures de prévention, outre la limitation des contacts, la limitation de la durée, le port des masques, etc.
- Le schéma général a été adapté et comprend à présent une étape supplémentaire dans laquelle les débits de ventilation nécessaires par personne sont déterminés en fonction de l'activité.
- La ventilation nécessaire dépend de l'activité. Différentes classes d'activité ont été introduites pour déterminer cet élément.
- Après la parution de l'arrêté ministériel du 12 mai 2021 déterminant provisoirement les conditions de la mise sur le marché des produits de purification de l'air dans le cadre de la lutte contre le SARS-CoV-2 en dehors des usages médicaux, l'étape relative à la purification de l'air a été développée.
- Les recommandations liées à l'occupation admise lorsque les fenêtres et les portes extérieures sont ouvertes ont été précisées.
- Des informations pratiques ont été ajoutées sur le taux de ventilation.
- Une annexe pratique a été ajoutée par rapport à la définition d'une stratégie de ventilation.

2. Introduction

Ce document décrit une approche pragmatique pour la mise en œuvre d'une ventilation et d'une purification de l'air suffisantes afin de pouvoir minimiser la diffusion du coronavirus et, par extension, d'autres virus à l'intérieur.

Une étude scientifique récente démontre que les aérosols constituent la trajectoire principale par laquelle passent les contaminations (cf. figure 1). Il existe par ailleurs d'autres modes de transmission du virus dans lesquels la ventilation joue un moindre rôle, comme la transmission directe via de grosses gouttes à courte distance (< 1,5 m) et le contact avec les surfaces contaminées. Les aérosols sont de petites gouttes qui sont libérées à partir des voies respiratoires lorsque l'on respire, parle, chante ou crie. Ces aérosols sont très petits (environ 0,5 μm à environ 100 μm). Vu leur petite taille, ils peuvent flotter plus longtemps dans l'espace. Chez une personne contaminée, ces aérosols contiennent des particules de virus qui peuvent infecter des personnes encore sensibles. Le risque d'infection dépend de la quantité de particules de virus qu'une personne sensible respire. Autrement dit, le risque d'infection via les aérosols peut être réduit en prévoyant une ventilation et une purification de l'air. Par ailleurs, chez une personne (potentiellement) infectée, l'usage d'un masque buccal permettra de réduire l'émission de ces aérosols contagieux dans l'espace. Le port du masque constitue donc une mesure à la source. Les masques FFP2 sont à ce niveau plus efficaces que les masques chirurgicaux, qui sont à leur tour plus efficaces que les masques buccaux en coton multicouches, etc. La nature de l'utilisation de la voix aura aussi un effet. Donc, en comparaison avec une respiration légère, chuchoter produit en moyenne déjà 6x plus d'aérosols, parler normalement 17x plus, crier 34x plus et chanter 250x plus. Cela signifie donc qu'il est particulièrement sensé de porter un masque buccal à l'intérieur lorsque l'on utilise notre voix. Le débit de respiration aura aussi une influence. En cas d'efforts plus intenses, de plus grands volumes d'air sont inspirés et expirés. La dose potentielle d'aérosols contagieux augmente donc. Cette dose est aussi déterminée par la durée pendant laquelle on se trouve avec une personne contaminée dans un espace ou dans

un espace contaminé (autrement dit un espace dans lequel une personne contaminée s'est trouvée pendant une certaine période). Enfin, le risque social est déterminé par le nombre de personnes sensibles qui se trouvent ensemble dans un même espace. Cela signifie donc d'une part que la bonne ventilation ou non d'un espace n'est pas l'unique critère pour le risque, mais d'autre part que mieux l'espace est ventilé, plus le risque de contamination sera faible. Vous trouverez de plus amples informations sur la définition du risque à [l'annexe 7](#).

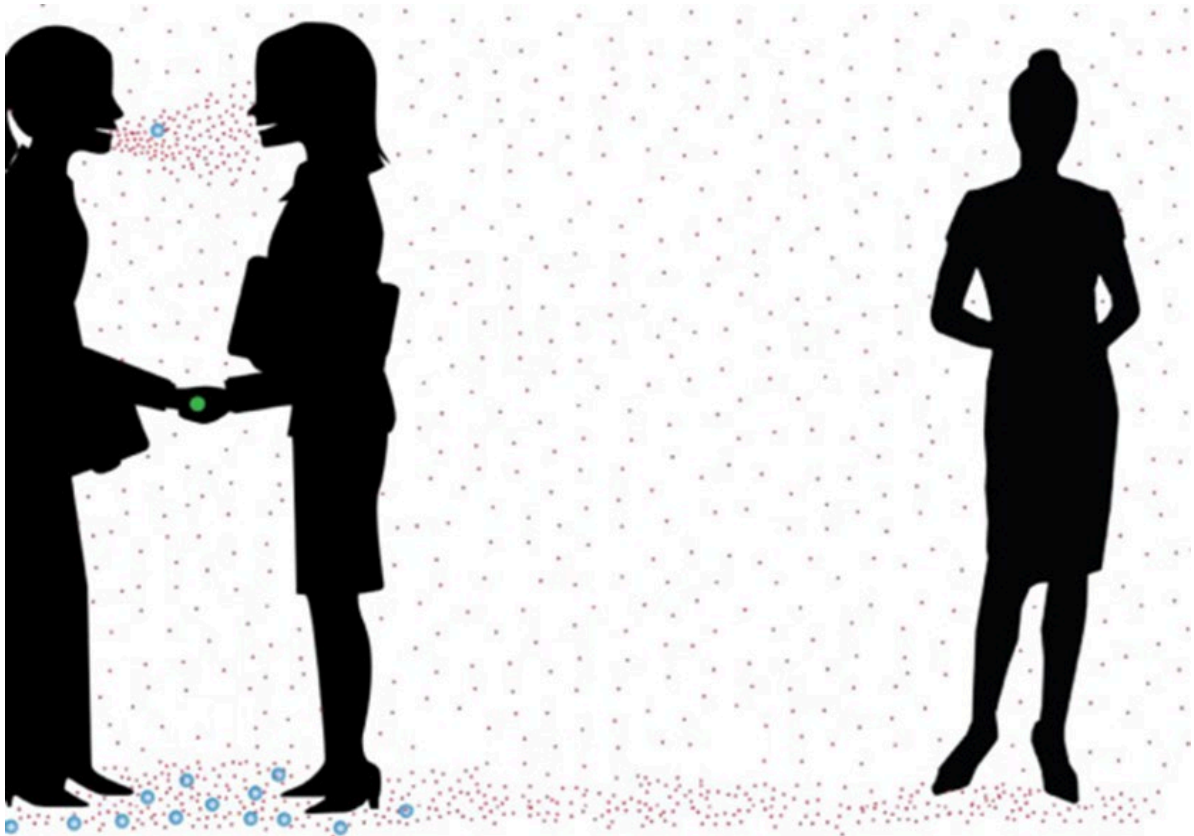


Figure 1 : Modes de transmission du SARS-CoV-2 et par extension d'autres virus des voies respiratoires.

Nous souhaitons par ailleurs souligner que la ventilation et l'aération seules ne suffisent pas, mais constituent l'une des mesures visant à mieux nous protéger de la COVID-19 (voir figure 2). L'application d'autres mesures reste donc nécessaire : distance de sécurité, port du masque, désinfection des surfaces, lavage des mains, écrans de protection pour autant qu'ils n'empêchent pas la ventilation, etc.

Il convient également de préciser que ce document **se concentre surtout sur les actions à court et moyen termes**. À plus long terme, il est essentiel qu'une bonne qualité de l'air intérieur puisse être garantie en permanence dans tous les locaux et que ceux-ci puissent être correctement ventilés. Il convient à cet effet d'accroître de manière générale l'attention accordée à la ventilation et les connaissances sur (les systèmes de) la ventilation dans l'aménagement et de mieux entretenir les systèmes de ventilation.

Protégez-vous et protégez les autres contre la COVID-19

Chaque mesure a ses limites.
Plusieurs mesures sont nécessaires pour
minimiser les risques de contamination.



Basé sur 'The Swiss cheese model of accident causation', de James T. Reason, 1990.

Fig. 2 Mesures à prendre pour se protéger et protéger les autres contre la COVID-19.

Lors du choix des actions, il est primordial de respecter la hiérarchie des mesures de prévention :

- Évitez les risques : si une réunion peut se faire par voie électronique, utilisez ce canal. Lorsque c'est possible, pratiquez vos activités à l'extérieur plutôt qu'à l'intérieur, faites-vous vacciner.
- Limitez le nombre de personnes présentes susceptibles d'être contaminées dans le local.
- Mesures à la source (potentielle) : portez un masque, surtout à l'intérieur et certainement lorsque vous utilisez votre voix (parler, crier, chanter), mesures techniques : ouvrir fenêtres et portes, systèmes de ventilation, purification de l'air, etc.
- Protection personnelle : un masque buccal va en grande partie réduire les aérosols inhalés
- Informez les collaborateurs, les bénévoles, les participants et les clients.

3. Ventilation, CO₂ et COVID-19

- La ventilation est un moyen efficace de réduire le risque de transmission du virus de la COVID-19 par aérosol.
- Les aérosols, qui contiennent des virus si la personne est contaminée, sont libérés via la respiration et, surtout, par l'utilisation de la voix. Nous expirons également du CO₂, un gaz dont la concentration dans l'air peut être mesurée facilement. C'est pourquoi la concentration en CO₂ est souvent utilisée comme indicateur du débit de ventilation dans les locaux occupés par des personnes. Les masques ne retiennent pas le CO₂, mais bien les aérosols. Pour une même concentration de CO₂ produite, l'utilisation de masques buccaux limitera donc la diffusion des aérosols dans le local. Plus la concentration en CO₂ est faible, plus la concentration en aérosols est faible, plus le risque de contamination par aérosol est limité.
- Outre le débit de ventilation, d'autres facteurs jouent un rôle important sur le risque de transmission du virus via les aérosols, notamment : le nombre de personnes encore sensibles exposées dans un local, le nombre de personnes contaminées dans ce local, la durée de l'exposition, l'usage de la voix (chant, cris, etc.), le port d'un masque ou non, les caractéristiques personnelles des personnes contaminées et exposées, etc.
- Lorsque nous expirons, nous dégageons du CO₂. En cas d'activité physique légère, cette quantité s'élève à environ 20 l/heure. La quantité de CO₂ libérée augmente en cas d'activités plus lourdes.
- Dans une pièce occupée en permanence, il existe une relation claire entre la différence de concentration en CO₂ entre l'intérieur et l'extérieur, et le débit de ventilation pour une activité spécifique. Le tableau 1 illustre les résultats obtenus dans le cas d'une activité assise et d'une activité lourde.
- Concernant le risque de transmission du virus via les aérosols, il n'existe pas de valeur seuil pour le débit de ventilation, le taux de renouvellement d'air ou la concentration de CO₂ avec laquelle on peut exclure le risque de contamination. Plus la ventilation est intense, plus le risque est réduit. C'est pourquoi il faut s'efforcer d'atteindre à l'intérieur une concentration en CO₂ comparable à celle de l'air extérieur (soit environ 400 ppm).
- Pour limiter ce risque au moyen de la ventilation, la première étape consiste à assurer une ventilation suffisante dans tous les locaux et à prendre des mesures correctives en priorité dans les locaux où la ventilation est clairement insuffisante.
- Si la concentration en CO₂ est inférieure à 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure), nous considérons la pièce comme bien ventilée. Dans un contexte de COVID-19, il s'agit d'une valeur acceptable sur le plan sociétal en vue de limiter la propagation du virus par les aérosols. En pratique, avec un débit d'air neuf de 40 m³/h.personne, il est à peu près toujours possible pour un adulte exerçant une activité légère standard de ne pas dépasser (ou rarement) la valeur de 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure). Ce taux de ventilation minimal est plus élevé dans le cas d'activités intensives, puisque la production de CO₂ et la production d'aérosols sont alors plus importantes.

Augmentation de la concentration en CO ₂ par rapport à l'extérieur	La concentration de CO ₂ à l'intérieur, si le CO ₂ à l'extérieur est de 400 ppm	Débit de ventilation Activité légère standard (m ³ /h.personne)	Débit de ventilation Activité lourde (m ³ :h/personne)
200	600	100	252
400	800	50	126
500	900	40	101
800	1.200	24	63
1.100	1.500	18	46

Tableau 1 : Relation entre la concentration de CO₂ et les débits de ventilation.

4. Plan de mise en œuvre

Le plan d'action proposé à la figure 2 porte sur les mesures à prendre à court et moyen termes en vue de garantir une ventilation adéquate dans le contexte de la pandémie de COVID-19. Dans ce cadre, on a considéré qu'une ou plusieurs des contraintes suivantes pouvaient s'appliquer : nombre insuffisant d'appareils de mesure du CO₂ disponibles, longues procédures de commande et de livraison des appareils de mesure du CO₂, impossibilité de mesurer les débits de ventilation mécanique à court terme, impossibilité d'installer un système de ventilation adéquat à court terme, etc.

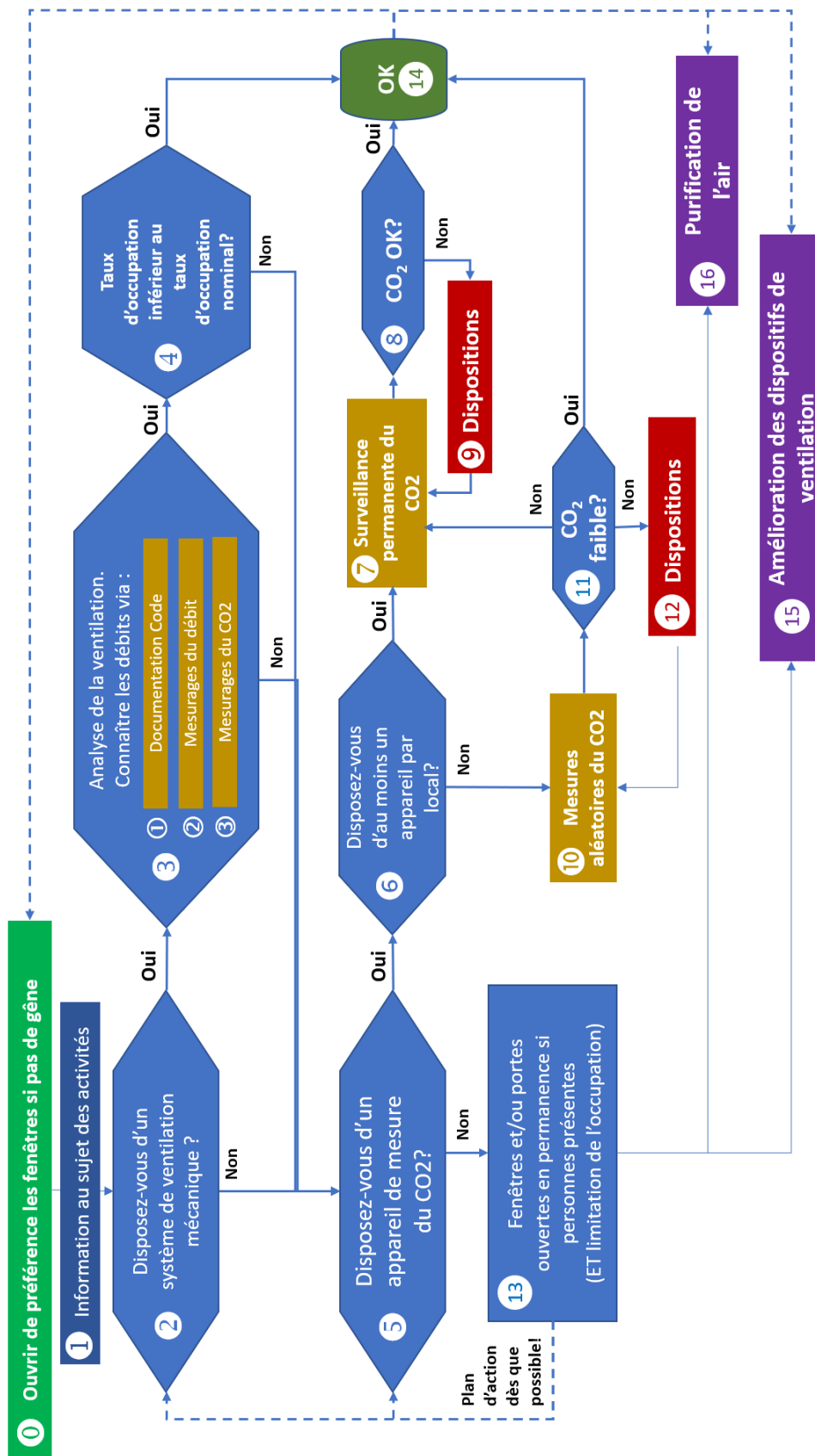


Figure 3 Schéma général du plan d'action.

4.1 ÉTAPE 0 : Ouvrez les fenêtres et/ou les portes extérieures si possible

- **Ouvrez les fenêtres et/ou les portes extérieures si possible.** Le fait d'ouvrir les fenêtres ou les portes extérieures contribuera à accroître la ventilation et doit donc être appliqué un maximum lorsque c'est possible. Si les baies de portes ou de fenêtres sont relativement grandes par rapport aux dimensions des locaux, le risque de concentration trop élevée en CO₂ est en principe limité, cf. [annexe 4](#).
- L'ouverture des fenêtres et des portes n'est pas toujours possible ou évidente, par exemple :
 - Dans des situations présentant un risque de sécurité, ex. dans le secteur bancaire, les musées, les prisons, etc.
 - Lorsque la sécurité des personnes ne peut être garantie : ex. centres psychiatriques, etc.
 - Dans les situations présentant beaucoup de bruit extérieur, un trafic important, etc.
 - Lorsque les conditions climatiques sont défavorables (pluie, vent, etc.).
 - Durant les périodes ou dans les lieux nécessitant un chauffage ou un refroidissement actif, l'ouverture des fenêtres et/ou des portes extérieures peut nuire à l'obtention du confort thermique.
 - Lorsqu'on peut démontrer, sur la base de mesures du débit ou de la concentration en CO₂ ([ÉTAPE 14](#)), que la ventilation est suffisante sans ouvrir les fenêtres, celles-ci peuvent rester fermées. Il n'en demeure pas moins judicieux de garder autant que possible les fenêtres ouvertes lorsque cela ne cause pas de nuisance.

• Ouverture permanente ou temporaire des fenêtres et des portes extérieures ?

L'ouverture permanente, mais éventuellement en oscillo-battant ou entrouverte, des fenêtres et/ou des portes extérieures est la solution la plus efficace. Si ce n'est pas possible, on peut essayer d'ouvrir les fenêtres et/ou les portes extérieures pendant les périodes d'inoccupation, par exemple avant l'utilisation du local, pendant les pauses ou les récréations, etc. Dans ce cas, un suivi de la concentration en CO₂ est conseillé ([ÉTAPE 7](#) ou [ÉTAPE 10](#)).

En l'absence d'un système de ventilation, les concentrations en CO₂ peuvent en effet augmenter rapidement lorsque les fenêtres sont fermées.

• Une ou plusieurs baies ?

Plusieurs baies dans différentes façades extérieures, même s'il s'agit de petites ouvertures, permettent généralement un plus grand renouvellement de l'air. Si une ouverture n'est possible que dans une seule façade, une plus grande ouverture peut être nécessaire. Dans la mesure du possible, il est également préférable d'ouvrir des baies placées à des hauteurs différentes, cf. [annexe 4](#).

• L'ouverture des portes extérieures et des fenêtres est-elle toujours nécessaire ?

Si l'on dispose d'un système de ventilation efficace, on peut atteindre des concentrations en CO₂ suffisamment faibles (≤ 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur)) et il n'est pas strictement nécessaire d'ouvrir les fenêtres et/ou les portes extérieures. Toutefois, comme nous l'avons déjà précisé, une concentration en CO₂ plus faible permet de réduire le risque de contamination. Le REHVA a développé un « [guidance document](#) » qui reprend de manière détaillée les éléments auxquels un système de ventilation qui fonctionne bien satisfait.

4.2 ÉTAPE 1 : Informations sur les activités

Le volume de ventilation nécessaire pour maintenir la concentration de CO₂ en dessous d'une certaine valeur d'action dépend aussi de la nature de l'activité physique qui est exercée dans une pièce. À mesure que les personnes présentes dans une pièce exercent des activités plus intenses, elles produisent également plus de CO₂ via la respiration et il faut donc davantage ventiler.

La mesure utilisée pour évaluer l'effort physique est la valeur MET. Ce nombre exprime le rapport entre le métabolisme lors d'une certaine activité et celui d'une personne standard au repos. Pour une valeur MET donnée, la production de CO₂ d'une personne peut être déterminée et le débit d'air frais nécessaire pour limiter la concentration de CO₂ à une certaine valeur peut en être déduit, ici 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur) ou 1200 ppm (ou 800 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur). Ce débit d'air frais est indiqué avec respectivement V₉₀₀ et V₁₂₀₀ (m³/h/personne).

Le tableau ci-dessous donne un aperçu de ces débits en fonction de classes d'activité typiques et de fonctions des bâtiments correspondants. Dans toutes les circonstances où le Code du Bien-être au travail est d'application, il convient d'utiliser au moins V₁₂₀₀ = 25 ou V₉₀₀ = 40 m³/h d'air frais par personne.

Sur base des besoins de ventilation pour une certaine fonction, on peut mieux évaluer l'occupation maximale admise dans un local présentant cette fonction si l'on dispose de plus amples informations sur les équipements de ventilation présents ([étape 3](#)). Les valeurs Met et les débits qui en sont déduits dans le tableau sont des valeurs moyennes sur un grand nombre de personnes et une plus longue période. La valeur MET peut toutefois fortement varier d'une personne à l'autre selon l'âge, le sexe, l'IMC, etc. Lors de l'exercice d'une activité, la valeur MET varie aussi en fonction du temps. En raison de cette variation, il demeure donc important de vérifier sur la base des mesures de CO₂ si les objectifs sont atteints ([étape 6](#)). Par exemple, chez les enfants entre 6 et 11 ans, la production de CO₂ est en moyenne d'environ 65 % de celle des adultes lors d'une même activité, et les débits peuvent en principe être réduits proportionnellement sans dépasser les valeurs limites de CO₂.

Classe	MET	Production CO ₂ (*) (l/h)	V ₉₀₀ (m ³ /h)	V ₁₂₀₀ (m ³ /h)	Exemples
Calme assis	1.5	18	37	23	Assis à regarder ou à écouter un film, de la musique ou du théâtre, spectateur dans une salle de sport, salle de classe (**), assister assis à un service religieux
Standard	1.63	20	40	25	Norme minimale pour les locaux de travail (Codex), travail de secrétariat et de bureau
Léger	1.8	22	44	28	Artisanat léger assis, manger ou boire, salon de coiffure ou de beauté, se promener dans un musée
Moyen	3.0	37	74	46	Travail physique régulier debout, shopping, bowling intérieur
Lourd	4.1	50	101	63	Travail physique intense avec mobilisation du tronc

Très lourd	5.2	64	128	80	Travail très intense et rapide, sports tels que le badminton, la gymnastique, la natation, la salle d'escalade
Intensif	7.3	90	180	112	Patinage sur glace, boxe, discodance, fitness, cyclisme sur piste, squash, tennis

Tableau 2 : classes d'activité avec valeur MET correspondante, production de CO₂ par personne et besoin d'air frais par personne.

* Sur la base d'une production de CO₂ de 12,3*Met l/h.

** Le besoin de ventilation dans les classes dépend fortement de la nature du cours et de l'âge des élèves ou des étudiants ; les jeunes élèves produisent moins de CO₂ que les élèves plus âgés.

4.3 ÉTAPE 2 : Disposez-vous d'un système de ventilation mécanique ?

Si un système de ventilation mécanique est présent, avec alimentation et/ou évacuation de l'air dans la même pièce, il est utile de déterminer le débit de ventilation. On détermine de préférence le débit de ventilation dans la position la plus élevée ainsi que les débits dans les autres positions de réglages, surtout si le système de ventilation comporte un réglage du débit, de sorte que le système ne fournit pas toujours le débit maximal. Il convient par ailleurs de vérifier quelle est la proportion d'air extérieur frais.

Sur la base de ces débits d'air extérieur frais, une **capacité nominale** peut être déterminée. (ÉTAPE 4). Il s'agit du nombre de personnes qui peuvent rester en permanence dans le local sans que la concentration admissible en CO₂ ne soit dépassée (de manière significative) et sans qu'il soit nécessaire de mesurer la concentration en CO₂ si la ventilation est utilisée correctement. Par exemple, N₉₀₀ est la capacité nominale pour ne pas dépasser les 900 ppm CO₂.

Veillez à ce que le système de ventilation fonctionne et soit entretenu selon les prescriptions du fabricant ou de l'installateur (remplacement des filtres, nettoyage, réglages, etc.). À cet égard, les mesures de CO₂ restent utiles pour vérifier si le système de ventilation fonctionne toujours correctement.

4.4 ÉTAPE 3 : Analyse de l'installation de ventilation mécanique

Cette analyse peut être répartie en deux points :

1. Comprendre comment l'installation est construite et son réglage
2. Déterminer les débits de ventilation

Construction de l'installation et réglage

Dans certains cas, l'installation de ventilation mécanique est très simple (ex. ventilateur mural avec interrupteur marche/arrêt) ; dans d'autres cas, l'installation peut être (très) complexe (ex. faire partie d'une installation HVAC, installation avec recirculation, installation desservant plusieurs locaux, systèmes de régulation complexes, etc.).

Il est important de bien connaître la construction et le fonctionnement de l'installation avant de vouloir déterminer les débits.

Détermination des débits de ventilation

La détermination des débits peut se faire de plusieurs manières :

1. Si une évaluation a déjà été effectuée dans le cadre du Code sur le bien-être au travail, le débit de ventilation mécanique est en principe connu (voir § 4.4.1).
2. Le débit peut également être mesuré à l'aide d'un débitmètre (voir § 4.4.2).
3. On peut aussi estimer le débit de ventilation sur la base de l'évolution des concentrations en CO₂ (voir § 4.4.3).

ATTENTION : les débits doivent être déterminés avec les portes et les fenêtres fermées, y compris les portes intérieures.

Le Code sur le bien-être au travail doit obligatoirement être respecté par les employeurs. Il constitue un code de bonne pratique dans tous les autres cas.

4.4.1 ÉTAPE 3.1 : Débit d'air frais connu dans le cadre du Code du bien-être au travail

Dans le cadre du Code du bien-être au travail, chaque employeur doit procéder à une analyse des risques liés à la qualité de l'air intérieur. Ce Code spécifie les concentrations maximales en CO₂ ou les débits de ventilation. Si les concentrations en CO₂ ou les débits de ventilation prévus ne sont pas atteints, un plan d'action doit être appliqué. Cf. ANNEXE 6.

Dans les locaux équipés d'une ventilation mécanique, la mesure des débits de la ventilation mécanique Q_{mec} est le moyen le plus simple de démontrer la conformité au Code du bien-être.

4.4.2 ÉTAPE 3.2 : Détermination du débit d'air neuf par mesure directe

Les débits Q_{mec} doivent au moins être déterminés pour la position de réglage la plus élevée et éventuellement pour les autres positions aussi.

La mesure correcte des débits de ventilation mécanique exige un appareillage adapté ainsi que les compétences nécessaires. Des informations pratiques sur les appareils de mesure peuvent être retrouvées dans [Mesurer les débits de ventilation mécanique « Contact CSTC • CSTC »](#) (en NL et FR).

Dans le cadre de la réglementation PEB, il existe en Flandre un système de rapporteurs agréés en matière de ventilation, qui disposent en principe de l'équipement approprié ainsi que des compétences nécessaires pour les installations résidentielles. Cf. [Ventilatieverslaggever – Energiesparen](#)

4.4.3 ÉTAPE 3.3 : Estimation de la capacité et/ou des débits nominaux sur la base des mesures de CO₂

Si l'on ne dispose pas de l'équipement nécessaire pour mesurer le débit et/ou si la mesure est difficile à réaliser (locaux de grandes dimensions, etc.), on peut estimer le débit de ventilation mécanique Q_{mec} et/ou la capacité nominale en se basant sur la concentration en CO₂ en régime stationnaire.

Pour estimer les prestations de l'installation de ventilation mécanique, il est important que les fenêtres et les portes soient fermées pendant la période de mesure. Le résultat obtenu tiendra compte également de l'apport d'air extérieur par les fuites d'air à travers l'enveloppe du bâtiment.

Une estimation des débits et/ou de la capacité nominale peut en principe être réalisée dans trois régimes différents (Figure 3) :

- Lors de la mise en service du local
- À une concentration en CO₂ plus ou moins stationnaire lorsque le local est occupé
- Après la période d'occupation de la salle

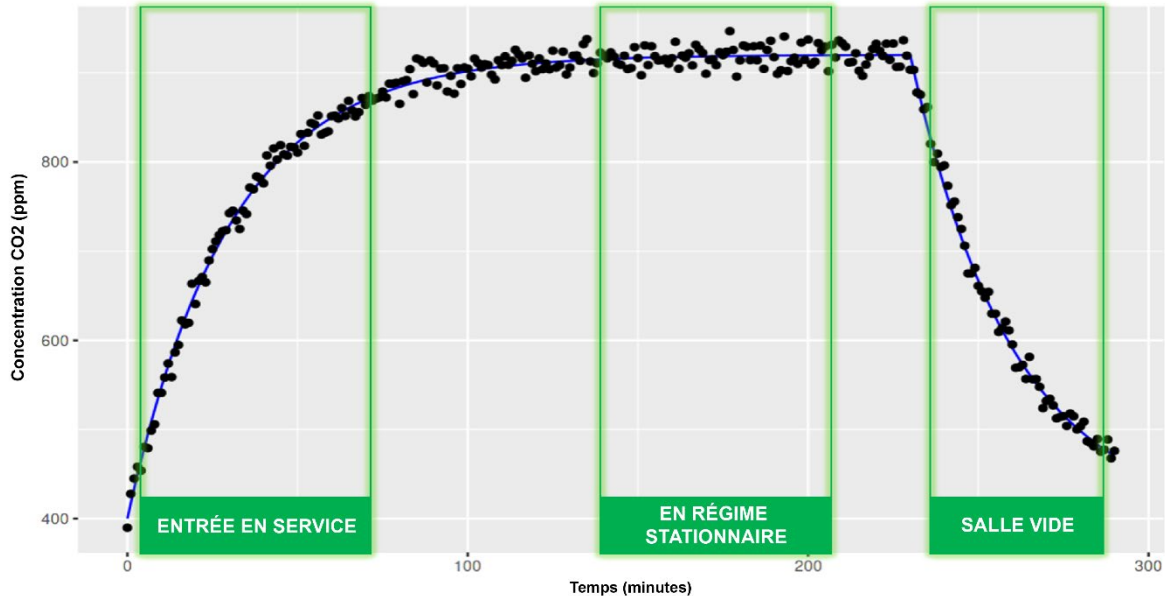


Figure 3 : évolution de la concentration en CO₂ en fonction du temps pour une salle occupée de manière intermittente

[L'annexe 5](#) mentionne comment vous pouvez calculer la capacité nominale ou les débits de ventilation.

4.5 ÉTAPE 4 : Détermination de la capacité nominale selon le débit de ventilation

L'étape 3 porte sur la détermination du débit de ventilation mécanique Q_{mec} en m³/h. Étant donné que l'objectif est de limiter la concentration en CO₂ à 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur), le débit de ventilation nécessaire doit s'élever à V_{900} m³/h par personne, la valeur dépendant de l'activité exercée par les personnes présentes (cf. [étape 1](#)).

La capacité nominale N_{900} , soit le nombre de personnes pouvant être présentes en permanence sans dépasser 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur), s'élève donc à :

$$N_{900} = \frac{Q_{mec}}{V_{900}}$$

- Si le taux d'occupation effectif N_{eff} est inférieur ou égal à N_{900} , il est très probable que la concentration en CO₂ n'excède pas 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure) et la situation peut être considérée comme conforme (→ [ÉTAPE 14](#))
- Si le taux d'occupation effectif N_{eff} est supérieur à N_{900} , la concentration de 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure) pourrait être dépassée et il conviendrait alors

de passer à [l'ÉTAPE 5](#). Lorsqu'il s'avère impossible d'effectuer des mesures du CO₂, un taux d'occupation plus élevé n'est autorisé que si les fenêtres et les portes peuvent être ouvertes et le rester en permanence ([ÉTAPE 13](#)).

REMARQUE : si la capacité nominale a été déterminée dans le cadre du Code sur le bien-être au travail en considérant une concentration en CO₂ de 1200 ppm (N₁₂₀₀), il y a lieu d'effectuer une correction afin de définir la capacité nominale N₉₀₀, soit :

$$N_{900} = (900-400)/(1200-400) * N_{1200} = 0,625 * N_{1200}.$$

Exemple

Coiffeur : selon le tableau de l'étape 1, un salon de coiffure est classé comme une activité légère avec V₉₀₀ équivalant à 44 m³/h par personne. S'il y a une ventilation mécanique réglée à un débit Q_{mec} = 100 m³/h, la capacité nominale N₉₀₀ = 100/44 = 2.3 personnes. Cela signifie que le coiffeur et un client peuvent être présents en permanence sans que la concentration en CO₂ soit trop élevée.

4.6 ÉTAPE 5 : Disposez-vous d'un appareil de mesure du CO₂ ?

En ce qui concerne le choix et l'utilisation des appareils de mesure du CO₂, on consultera le document [« Choix et utilisation de capteurs de CO₂ dans le contexte du COVID-19 »](#) sur le site web du SPF Économie.

Si l'on dispose d'un capteur de CO₂, on peut vérifier si la valeur de 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur) n'est pas dépassée → [ÉTAPE 6](#).

Si vous ne possédez pas d'appareil de mesure du CO₂, passez à [l'ÉTAPE 13](#).

4.7 ÉTAPE 6 : y a-t-il au moins un capteur de CO₂ par local ?

L'idéal est d'avoir au moins un appareil de mesure du CO₂ dans chaque pièce. Il arrive toutefois, pour diverses raisons (budget, délais de livraison, disponibilité, etc.), qu'on ne puisse pas équiper chaque local d'un appareil de mesure du CO₂ :

- 1) S'il y a un appareil de mesure du CO₂ pour chaque local, → [ÉTAPE 7](#).
- 2) S'il n'y a pas d'appareil de mesure du CO₂ pour chaque local, → [ÉTAPE 10](#).

4.8 ÉTAPE 7 : Surveillance permanente de la concentration en CO₂

Si la concentration en CO₂ est mesurée en permanence dans une pièce ET qu'un suivi efficace des mesures est assuré, il est tout à fait possible d'évaluer si la ventilation est suffisante, et ce, tant pour les systèmes de ventilation mécanique que pour la ventilation naturelle.

4.9 ÉTAPE 8 : La concentration en CO₂ est-elle rarement supérieure à 900 ppm ?

Si OUI :

- Il y a en principe une ventilation suffisante et aucune mesure supplémentaire n'est nécessaire → [ÉTAPE 14](#)
- La concentration en CO₂ étant influencée par le taux d'occupation, par les conditions climatiques ainsi que par l'ouverture des fenêtres et des portes, il est souhaitable d'effectuer des contrôles réguliers.

Si NON :

- Des dispositions doivent être prises → [ÉTAPE 9](#).

4.10 ÉTAPE 9 : Dispositions en cas de valeurs CO₂ élevées avec des mesures permanentes

Si la concentration de CO₂ est régulièrement (> 5 % du temps) supérieure à 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur), des dispositions doivent être prises. Le type et l'ampleur de ces dispositions varient notamment en fonction des conditions de ventilation et du niveau de concentration en CO₂ :

- Dans le cas où l'on dispose d'un système de ventilation mécanique en marche dont le débit est connu (voir [ÉTAPE 3](#)) et que l'installation fonctionne correctement, les concentrations trop élevées sont en général dues au fait que la capacité effective N_{eff} est supérieure au taux nominal N_{900} . Si les concentrations sont excessives, le taux d'occupation doit être réduit à N_{900} ou moins et/ou la ventilation doit être renforcée (en ouvrant les fenêtres et/ou les portes) et/ou il faut installer un système de purification de l'air supplémentaire. Tant que la concentration en CO₂ n'excède pas 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure), un taux d'occupation N_{900} peut être maintenu. Des concentrations en CO₂ trop élevées peuvent également résulter d'une mauvaise utilisation du système de ventilation, d'un manque d'entretien, etc. On peut établir un planning pour augmenter les débits de ventilation.
- En l'absence de système de ventilation mécanique, aucune capacité nominale n'est fixée et les solutions envisageables sont l'ouverture des fenêtres et des portes, l'installation d'une ventilation mécanique, la purification de l'air ([ÉTAPE 16](#)) ou la réduction du taux d'occupation. Dans ce cas, il convient de contrôler en permanence si les dispositions adoptées suffisent ou non. Il y a en outre lieu d'établir un plan d'amélioration de la ventilation ([ÉTAPE 15](#)).
-

4.11 ÉTAPE 10 : Mesures aléatoires de la concentration en CO₂

Le contrôle non continu de la concentration en CO₂ permet d'obtenir une première indication concernant la qualité de l'air et les dispositifs de ventilation.

Cette approche s'avère utile dans le cas où l'on dispose d'un appareil de mesure du CO₂, mais où il n'est pas possible d'équiper tous les locaux (en raison de longs délais de livraison, de budgets limités, etc.).

Pour réaliser les contrôles aléatoires, il existe plusieurs possibilités :

- a) Effectuer régulièrement des mesures relativement courtes dans les différents locaux (de préférence vers la fin d'une période d'occupation).
- b) **Réaliser des mesures plus longues par local** (un jour, une semaine, ...) en changeant de lieu à chaque fois. Il convient pour cela d'utiliser de préférence un appareil de mesure du CO₂ pouvant donner un aperçu (graphique, etc.) de l'évolution de la concentration de CO₂.
- c) **Combiner des périodes de mesure courtes et longues**, les premières permettant de relever les situations à risque et d'évaluer rapidement l'effet de certaines dispositions, les secondes donnant une estimation plus globale de la ventilation d'un local.

4.12 ÉTAPE 11 : Les concentrations en CO₂ mesurées aléatoirement sont-elles suffisamment basses ?

Deux situations peuvent se présenter :

1. **Les concentrations en CO₂ sont globalement faibles à très faibles (ordre de grandeur de 500-700 ppm)**

Si les conditions d'utilisation sont représentatives d'une occupation maximale, la probabilité d'avoir des concentrations en CO₂ trop élevées est relativement faible ([ÉTAPE 14](#)).

Il importe toutefois de poursuivre les mesures aléatoires de la concentration en CO₂. La fréquence des mesures aléatoires dépend des niveaux de CO₂ mesurés, des conditions climatiques (cf. annexe 4), du taux d'occupation, de l'application des diverses dispositions (fenêtres et/ou portes ouvertes), etc.

2. **Si les concentrations en CO₂ avoisinent régulièrement 800-900 ppm (ou 400-500 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur) ou plus**

Si l'on ne dispose pas d'un système de ventilation mécanique fonctionnant en permanence, la concentration en CO₂ risque d'excéder régulièrement 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure). Dans ce cas, il convient de passer à des mesures de CO₂ permanentes - cf. [ÉTAPE 7](#).

Il est aussi nécessaire de prendre des dispositions → [ÉTAPE 12](#).

4.13 ÉTAPE 12 : Dispositions si les valeurs de CO₂ relevées aléatoirement ne sont pas assez basses

Les dispositions à prendre dans ce cas sont très similaires à celles recommandées lorsque les mesures permanentes de la concentration en CO₂ révèlent des valeurs excessives (voir [ÉTAPE 9](#)).

Plus les valeurs de la concentration en CO₂ relevées lors des mesures aléatoires sont hautes, plus il devient important de passer à une surveillance continue. Si cela s'avère impossible en pratique, il est impératif de réaliser les mesures aléatoires à intervalles suffisamment réguliers. Si l'on dispose d'un système de ventilation mécanique fonctionnant en permanence, aucune disposition ne doit être prise tant que la concentration en CO₂ ne dépasse pas 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration de l'air extérieur).

4.14 ÉTAPE 13 : Gardez toujours les fenêtres et les portes ouvertes

Si l'on ne dispose d'aucune indication concernant la ventilation du local (pas de mesure de débit dans le cas d'une ventilation mécanique et pas de mesure des concentrations en CO₂), il est essentiel de mener les actions suivantes :

- Ouvrir autant que possible les fenêtres et/ou les portes et, si l'on dispose d'un système de ventilation mécanique, régler celui-ci en position maximale.
- Limiter le taux d'occupation nominal, en se basant sur la règle suivante pour les personnes exerçant une activité calme et assise :

- Maximum 4 personnes par m² de surface nette de baie de fenêtre ouverte
- Maximum 7 personnes par m² de surface nette de baie de porte extérieure ouverte

Pour les locaux appartenant à une autre classe d'activité, l'occupation doit être limitée à :

- Maximum $160/V_{900}$ personnes par m² de surface nette de baie de fenêtre ouverte
- Maximum $260/V_{900}$ personnes par m² de surface nette de baie de porte extérieure ouverte

L'ANNEXE 4 fournit un calcul plus détaillé et donne davantage d'informations au sujet de la règle précitée et du calcul de la surface nette

- À court terme, exécuter des mesures de CO₂ ([ÉTAPE 7](#)) ou, en cas de ventilation mécanique, des mesures de débit ([ÉTAPE 3](#)).

- Améliorer l'installation de ventilation ([ÉTAPE 15](#)) et utiliser éventuellement un système de purification de l'air ([ÉTAPE 16](#)).

Dans les locaux de grandes dimensions (halls sportifs, auditoriums, etc.), il faut aussi un certain temps avant que les concentrations en CO₂ et aérosols augmentent. Par conséquent, même s'il n'y a pas d'indications sur la ventilation de la pièce, un tel local peut être utilisé pendant un certain temps par un certain nombre de personnes présentes avant que la concentration en CO₂ dépasse 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure). L'occupation doit dans ce cas se limiter à :

- o Maximum $V/(V_{900} \cdot t)$ personnes. Où le V est le volume de l'espace (m³), V₉₀₀ le besoin de ventilation par personne (m³/h), et t la durée de l'activité (en h).

Cette formule part du principe que le CO₂ produit est uniformément réparti dans la pièce et qu'il n'y a pas de renouvellement de l'air. L'estimation de l'occupation admissible est donc du côté de la sécurité, à condition qu'au début de l'activité, la concentration de CO₂ soit égale à celle de l'environnement extérieur. Cette règle n'est donc utile que pour les locaux qui sont utilisés de manière intermittente et lorsqu'il y a suffisamment de temps entre les activités successives pour veiller à ce que la concentration en CO₂ ait fortement baissé avant le début d'une nouvelle activité.

Exemple : dans un théâtre d'un volume de 3000 m³, une représentation de 1.5 h est assurée. Le besoin de ventilation V₉₀₀ est de 37 m³/h (cf. étape 1). Par conséquent, un maximum de $3000/(37 \cdot 1.5)$ ou 54 personnes peuvent assister à la représentation, même si aucune information sur la ventilation de cette salle n'est connue.

4.15 ÉTAPE 14 : Actions si la situation est OK

Si les déterminations du débit ([ÉTAPE 3](#)) ou les mesures de la concentration en CO₂ ([ÉTAPES 7](#) et [10](#)) permettent de garantir avec assez de certitude que la ventilation est suffisante compte tenu du taux d'occupation, on peut supposer que les valeurs visées pour la concentration en CO₂ seront rarement dépassées.

Les points d'attention suivants sont importants à ce niveau :

- En cas de ventilation mécanique, il importe que, lorsque la pièce est occupée, l'installation fonctionne dans les mêmes conditions que celles qui prévalaient lors de la mesure du débit de ventilation mécanique. Un contrôle régulier des concentrations de CO₂ est certainement utile dans ce contexte.
- L'installation doit en outre idéalement fonctionner pendant un certain temps avant le début et après la fin des activités, afin de garantir une concentration en CO₂ suffisamment faible.

Lorsqu'il est possible d'exercer les activités avec les fenêtres ouvertes sans trop de désagréments ([ÉTAPE 0](#)), il est conseillé de le faire de façon à réduire les concentrations en CO₂.

Si les valeurs indicatives de CO₂ peuvent uniquement être atteintes avec des fenêtres ou des portes ouvertes, il est souhaitable de développer un plan d'action pour améliorer la ventilation ([ÉTAPE 15](#)).

On considère qu'une situation est conforme lorsque :

- Les dispositions suivantes sont prises :
 - o Une ventilation naturelle maximale est assurée, dans la mesure du possible, par l'ouverture des fenêtres et des portes, ou

- Les systèmes de ventilation sont entretenus et réglés de manière à ce que le débit soit maximal et que l'apport d'air extérieur soit de 100 %. Les systèmes de ventilation assurent une préventilation et une postventilation suffisantes.
- Et on peut au moins démontrer les résultats suivants :
 - Soit la ventilation permet habituellement (> 95 % du temps) de maintenir la concentration en CO₂ sous les 900 ppm ou de ne pas dépasser de plus de 500 ppm la concentration extérieure. Cette situation est également considérée comme acceptable si l'on peut garantir pour chaque personne présente dans chaque local un apport d'air extérieur frais suffisant (40 m³/h pour une activité légère, des valeurs supérieures pour d'autres activités, etc. cf. tableau 2).
 - Soit on prend des mesures supplémentaires (masques spécifiques, purification de l'air, etc.) sur la base d'une analyse des risques pour veiller à ce que la quantité d'aérosols dans l'air intérieur ne dépasse pas la valeur relevée lorsque la ventilation est assurée conformément aux spécifications de ce document et à ce que l'on reste donc sous les 900 ppm CO₂ via la ventilation. Dans ce cas, une ventilation suffisante sera aussi assurée de manière à ce que la concentration en CO₂ reste sous les 1200 ppm ou ne dépasse pas de plus de 800 ppm la concentration extérieure. Cette situation est également considérée comme acceptable si l'on peut garantir pour chaque personne présente dans chaque local un apport d'air extérieur frais suffisant (25 m³/h pour une activité légère, des valeurs supérieures pour d'autres activités, etc. cf. tableau 2).

4.16 ÉTAPE 15 : Plan d'action pour l'amélioration des dispositifs de ventilation

Si un local est dépourvu de dispositif de ventilation efficace ou que celui-ci est insuffisant et qu'on ne peut atteindre les valeurs recommandées de la concentration en CO₂ qu'en ouvrant les fenêtres ou les portes, il est souhaitable d'établir un plan d'action en vue de mettre en place, à long terme, des dispositifs permettant une ventilation suffisante sans qu'il soit nécessaire d'ouvrir les fenêtres et les portes ou de restreindre le taux d'occupation. Pour le court terme, une stratégie de ventilation est nécessaire permettant, via l'ouverture des portes et fenêtres, d'assurer une ventilation appropriée (cf. annexe 10)

Pour les locaux occupés par des travailleurs, cela permettra par ailleurs de se conformer au Code sur le bien-être au travail. Une ventilation efficace permettra en outre de réduire les risques de contamination par le virus de la grippe ou d'autres virus, mais aussi d'améliorer les performances des personnes présentes.

Afin de diminuer le risque de contamination au Covid-19 dans des espaces clos, il y a donc une hiérarchie des mesures à respecter :

- Aérer et/ou ventiler le plus possible, en coupant au maximum et si possible complètement la recirculation d'air et en amenant 100 % d'air neuf.
- S'il est impossible de couper complètement la recirculation d'air en provenance de l'intérieur des locaux, augmenter au maximum le débit d'air neuf.
- Si l'augmentation du débit d'air neuf ne suffit pas, il convient d'examiner la possibilité technique d'installer un système de filtration centralisée.
- En cas de rénovation, envisagez l'installation d'un nouveau système pour une filtration de l'air centralisée.

4.17 ÉTAPE 16 : Purification de l'air

Dans le contexte de la pandémie de COVID-19, l'utilisation de systèmes de purification de l'air, en complément de la ventilation, permet de réduire davantage le risque de contamination. La

purification de l'air peut être appliquée lorsque la garantie du débit de ventilation visé n'est pas totalement réalisable pour des raisons pratiques ou en tant que mesure complémentaire dans un espace qui est déjà suffisamment ventilé. En éliminant ou en inactivant les aérosols potentiellement contagieux de l'air, la purification de l'air limitera davantage le risque de contamination.

Les exigences auxquelles de tels appareils de lutte contre le SARS-CoV-2 doivent satisfaire sont définies dans un arrêté ministériel en vigueur depuis le 28 mai 2021. L'arrêté s'applique aux systèmes destinés à une utilisation dans les espaces accessibles au public, spécifiquement mis en place pour limiter le risque de COVID-19. Une liste à jour des systèmes autorisés sur le marché et contrôlés pour utilisation dans les espaces fréquentés par le public est disponible sur www.corona-ventilation.be. Il est recommandé de consulter la liste des appareils approuvés.

La purification de l'air peut être assurée au niveau central dans le système HVAC ou via des purificateurs d'air mobiles. L'arrêté ministériel susmentionné traite des deux types de systèmes.

Le fonctionnement de la purification de l'air

Les purificateurs d'air ne garantissent pas l'obtention d'une qualité de l'air intérieur généralement bonne et ne constituent donc pas une alternative équivalente à la ventilation adéquate en des termes généraux. La ventilation assure notamment l'évacuation vers l'extérieur de l'ensemble des polluants dans l'air intérieur (gaz, particules, micro-organismes) ainsi que l'amenée d'air extérieur « frais », de sorte que les concentrations de tous les polluants baisseront à l'intérieur. La purification de l'air vise par contre la captation, la filtration ou l'inactivation d'un ou plusieurs polluants spécifiques (ex. inactivation des micro-organismes) et n'agit pas sur tous les autres polluants. Certaines technologies de purification de l'air pertinentes pour le SARS-CoV-2 n'ont donc généralement pas d'influence sur les polluants gazeux. Le taux de CO₂ dans le local ne baissera donc pas en utilisant un système de purification de l'air (peu importe la technologie sur laquelle il est basé). Une relation différente apparaît donc entre la concentration de CO₂ et le risque d'infection par rapport à une situation sans purification de l'air. Une limite de CO₂ équivalente devra donc être utilisée (cf. [annexe 8](#)).

Lorsqu'on opte pour la purification de l'air, il est utile d'identifier tous les polluants présents ou pouvant être présents dans l'air intérieur et de choisir un appareil qui élimine au maximum ces polluants.

Attention : il s'agit d'appareils qui purifient directement l'air intérieur. Les appareils et les filtres qui ne purifient que l'air extérieur frais (dans le cadre d'un système de ventilation mécanique) ne sont pas pertinents dans ce contexte, vu que l'air extérieur frais peut être supposé exempt de virus.

Deux types de purification de l'air :

Captation : capture des particules contenant potentiellement le virus (filtre HEPA, systèmes basés sur l'ESP).

Inactivation : endommagement de tous les micro-organismes ou de certains d'entre eux dans un flux d'air, de sorte qu'ils ne puissent plus se multiplier ou se propager (ex. UV-C, etc.).

Il existe différents types d'appareils, dont les filtres HEPA et les précipitateurs électrostatiques (ESP) sont les types les plus indiqués pour réduire le risque de contamination par les aérosols. L'ESP peut aussi produire des sous-produits indésirables, comme l'O₃ ou l'OH, généralement dans des quantités très limitées. Pour l'efficacité et la sécurité des appareils, nous pouvons renvoyer à la [liste des appareils du SPF Santé publique](#). Pour les appareils déjà installés qui ne figurent pas sur cette liste, il est utile de demander au fabricant de faire le nécessaire pour être inclus dans la liste.

L'utilisation de la purification de l'air

Sachez que les systèmes installés dans un local font du bruit. Il provient principalement du (des) ventilateur(s) présent(s) dans le système et varie donc aussi avec le débit. Un débit inférieur aura pour effet que l'efficacité de la purification de l'air sera plus faible. Les informations sur le niveau sonore sont généralement reprises dans la documentation technique de l'appareil.

Chaque appareil de purification de l'air doit être entretenu et nettoyé selon les instructions reprises dans les informations techniques de l'appareil. Les impuretés dans l'appareil ou les filtres saturés peuvent influencer l'efficacité de la purification de l'air et, dans certains appareils, la consommation d'énergie. Tenez compte du fait que les filtres peuvent être potentiellement contaminés ; l'utilisation d'équipements de protection individuelle est donc indiquée lors de l'entretien.

Positionnement de l'appareil : à faire et à ne pas faire

- Ne pas placer à proximité de portes extérieures et de fenêtres ouvertes.
- Ne pas placer dans le coin d'une pièce, mieux vaut opter pour un emplacement aussi central que possible.
- Prévoir suffisamment d'espace libre autour du côté d'aspiration de l'appareil.
- En fonction de la forme de la pièce, mieux vaut prévoir deux petites unités plutôt qu'une grande assurant le même CADR total.
- La valeur CADR indiquée dans la documentation technique est généralement applicable à la position la plus élevée du sélecteur de vitesses de l'appareil. Si d'autres positions sont utilisées, la valeur CADR de cette position doit être connue.
- Suivre les directives du fabricant
- ...

Le débit de ventilation équivalent pour la purification de l'air

Pour chaque type d'appareil, le Clean Air Delivery Rate (CADR) indique pour les particules fines (PM 2.5) le débit de ventilation équivalent qui peut être assuré avec cet appareil. Le CADR doit être indiqué dans la documentation technique de l'appareil et est exprimé en m³/h.

Le débit nominal total Q_{tot} est donc égal à $Q_{mec} + CADR$.

Ce débit doit être (substantiellement) plus grand que le débit de ventilation minimal pour la capacité nominale telle que définie à [l'étape 4](#).

Attention : la purification de l'air en tant qu'alternative ou en complément à la ventilation ne fera pas baisser la concentration de CO₂. Dans tous les cas où le CODEX est d'application, il convient d'utiliser minimum 25 ou 40 m³/h.personne d'air extérieur.

Le recours à la purification de l'air entraîne une diminution des concentrations d'aérosols ou de particules fines, mais ne se traduit pas par une diminution de la concentration de CO₂.

Exemple :

- Hypothèse : le débit de 40 m³/h d'air extérieur pour une activité légère standard représente une augmentation de la concentration de CO₂ de 500 ppm (900 ppm (ou 500 pp au-dessus de la concentration extérieure) absolus).
- Si l'on combine 25 m³/h d'air extérieur avec une purification de l'air correspondant à un CADR de 15 m³/h.personne, on arrive à un débit équivalent d'air extérieur de 40 m³/h, mais l'augmentation de la concentration de CO₂ s'élèvera à 800 ppm (1200 ppm absolus).
- Si dans une telle situation (25/40 (62,5 %) d'air extérieur et 15/40 (37,5 %) via la purification de l'air) on peut maintenir la concentration de CO₂ en dessous de 1200 ppm, on obtient au niveau des aérosols une qualité de l'air comparable à 100 % d'air extérieur et 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure).

Détermination d'une limite de CO₂ adaptée en cas d'utilisation de la purification de l'air

Si l'on applique la purification de l'air en combinaison avec le suivi du CO₂, il est important d'utiliser une limite CO₂ corrigée. Il est important à ce niveau que la valeur CO₂ mesurée ne soit jamais supérieure à 1200 ppm.

5. Checklist

Une checklist est proposée à l'ANNEXE 1 afin de faciliter l'évaluation.

ANNEXE 1 : Checklist

Étape	Description	À compléter ou entourer	Remarques	Étape suivante																																
0	Veillez à assurer une ventilation naturelle maximale en ouvrant les fenêtres et les portes.		Tenez également compte des risques liés à la sécurité, à la sécurité incendie, etc.	1																																
1	Informations sur les activités	Déterminez en fonction de l'activité la quantité d'air frais nécessaire (V_{900}). Prévoyez au moins 5/8 ^e de ce débit nécessaire en air extérieur frais, éventuellement complété avec au moins 3/8 ^e du débit nécessaire en purification de l'air. Davantage de purification de l'air fera encore baisser le risque.	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classe</th> <th>MET</th> <th>V_{900} (m³/h)</th> <th>V_{1200} (m³/h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Calme assis</td> <td>1.5</td> <td>37</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Standard</td> <td>1.63</td> <td>40</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Léger</td> <td>1.8</td> <td>44</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Moyenne</td> <td>3.0</td> <td>74</td> <td>46</td> </tr> <tr> <td>Lourd</td> <td>4.1</td> <td>101</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>Très lourd</td> <td>5.2</td> <td>128</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Intensif</td> <td>7.3</td> <td>180</td> <td>112</td> </tr> </tbody> </table> <p>Cf. description au tableau 2</p>	Classe	MET	V_{900} (m ³ /h)	V_{1200} (m ³ /h)	Calme assis	1.5	37	23	Standard	1.63	40	25	Léger	1.8	44	28	Moyenne	3.0	74	46	Lourd	4.1	101	63	Très lourd	5.2	128	80	Intensif	7.3	180	112	2
Classe	MET	V_{900} (m ³ /h)	V_{1200} (m ³ /h)																																	
Calme assis	1.5	37	23																																	
Standard	1.63	40	25																																	
Léger	1.8	44	28																																	
Moyenne	3.0	74	46																																	
Lourd	4.1	101	63																																	
Très lourd	5.2	128	80																																	
Intensif	7.3	180	112																																	
2	Disposez-vous d'un système de ventilation mécanique ?	Oui Non		Oui : 3.1 Non : 5																																
3.1	Débit connu dans le cadre du Code du bien-être au travail ?	Q_{mec} connu	Chaque employeur devrait déjà disposer d'une analyse des risques de la qualité de l'air intérieur.	Oui : les débits sont en principe connus, passez à l'étape 4.																																

		Non		Non : 3.2
3.2	Effectuez une mesure du débit d'air neuf dans chaque local	Le Q_{mec} est défini pour chaque local en m ³ /h.	Faites cela au moins en position maximale et de préférence aussi à d'autres positions de réglage. Cette opération doit être effectuée par un expert.	A pu être déterminé : étape 4 . N'a pas pu être déterminé (rapidement) : 3.3 .
3.3	Estimez le débit sur la base de la différence de concentration de CO ₂ entre l'intérieur et l'extérieur.	$Q_{mec} = \frac{500 * 40 * MET * N}{1,63 * (CO_{2,int} - CO_{2,ext})}$ <p>où N est le nombre de personnes présentes et MET est la valeur MET de l'activité ; pour les personnes en activité calme, la valeur MET est 1,63.</p>	Voir les différentes conditions à remplir pour pouvoir appliquer cette méthode.	A pu être déterminé : Étape 4 . N'a pas pu être déterminé : étape 5 .
4	Capacité nominale de chaque local	$N_{eff} =$ $N_{900} = Q_{mec}/40 =$	<p>= Nombre de personnes pouvant être présentes en permanence sans dépasser une concentration en CO₂ de 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure).</p> <p>N_{eff} représente le taux d'occupation effectif.</p>	<p>Si $N_{eff} \leq N_{900}$: étape 14</p> <p>Si $N_{900} \leq N_{eff} \leq N_{1200}$: étape 4.1.</p> <p>Sinon : étape 5</p>
4.1	Si le respect du Code sur le bien-être au travail est possible sur la base de 1200 ppm.		<p>Si N_{1200} est connu : $N_{eff} = 0,625 * N_{1200}$</p> <p>Ou : une analyse spéciale des risques montre qu'un équilibre a été trouvé entre les dimensions du local, le niveau de ventilation, l'humidité de l'air, l'activité, le port ou non de masques buccaux ainsi</p>	Passez à l'étape 5 .

			que le type de masque et la durée de l'occupation.	
5	Disposez-vous d'appareils de mesure du CO ₂ ?		Envisagez d'en acheter, d'en louer ou d'en emprunter. Un document distinct consacré aux appareils de mesure du CO ₂ et à leur utilisation est disponible : « Choix et utilisation de capteurs de CO₂ dans le contexte du COVID-19 » .	Oui : étape 6 Non : étape 13
6	Disposez-vous d'un appareil de mesure du CO ₂ pour chaque local ?			Oui : étape 7 Non : étape 10
7	Contrôlez en permanence le taux de CO ₂ .		Continuez à surveiller les valeurs et prenez des dispositions. Pour effectuer ce suivi, consultez le tableau figurant en dessous de la checklist.	Déterminez la valeur : étape 8 Déterminez les dispositions à prendre : étape 9 Si les résultats sont suffisamment rassurants après une période de mesure : étape 14 .
8	Évaluez la concentration en CO ₂ .	La concentration en CO ₂ est-elle inférieure à 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure) durant 95 % du temps ?	Lorsque le taux d'occupation est variable et que l'on recourt uniquement à la ventilation naturelle, ces mesures doivent être répétées régulièrement. Pour effectuer le suivi, consultez le tableau figurant en dessous de la checklist.	Si OK : étape 14 Sinon : étape 9
9	Prenez des dispositions complémentaires.		En cas de ventilation mécanique : <ul style="list-style-type: none"> - Complétez la ventilation par l'ouverture des fenêtres et/ou des portes. - Limitez le taux d'occupation. 	Si des dispositions complémentaires sont prises : étape 7 . Plan d'action : étape 15 Purification de l'air : étape 16

			<p>En cas de ventilation naturelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ouvrez également les fenêtres et les portes. - Envisagez une installation de ventilation et une éventuelle purification de l'air. - Dressez un plan d'action. 	
10	Contrôlez la concentration en CO ₂ de manière aléatoire.		<p>Plusieurs solutions sont envisageables :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Effectuer de courtes mesures à intervalles réguliers, notamment à la fin d'une période d'occupation. - Réaliser des mesures durant un jour ou une semaine dans chaque local. - Combiner les deux solutions précédentes. 	<p>Évaluation des mesures : étape 11 Définition des dispositions complémentaires : étape 12 Si les résultats sont suffisamment rassurants après une période de mesure : étape 14</p>
11	Évaluez la concentration en CO ₂ .	<p>Les concentrations en CO₂ sont faibles, voire très faibles (500-700 ppm) ?</p> <p>Les concentrations en CO₂ sont plutôt élevées (≥750 ppm) ?</p>	<p>Si elles sont faibles à très faibles en cas d'occupation maximale : situation OK, poursuivre l'échantillonnage.</p> <p>Si la concentration est plutôt élevée : passez à un contrôle permanent et prenez des dispositions supplémentaires.</p>	<p>Si faible à très faible : étape 14</p> <p>Si plutôt élevée : étape 12</p>
12	Dispositions en cas de concentrations de CO ₂ insuffisamment faibles lors des mesures aléatoires		<p>En cas de ventilation mécanique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Complétez la ventilation par l'ouverture des fenêtres et/ou des portes. - Limitez le taux d'occupation. <p>En cas de ventilation naturelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ouvrez également les fenêtres et les portes. - Utilisez la purification de l'air. 	<p>Prenez des dispositions et effectuez directement une nouvelle mesure : étape 10 Plan d'action : étape 15 Purification de l'air : étape 16</p>

			<ul style="list-style-type: none"> - Dressez un plan d'action. <p>Réévaluez immédiatement ce local en réalisant une mesure permanente.</p>	
13	Ouverture permanente des fenêtres comme solution temporaire		<ul style="list-style-type: none"> - Ouvrez autant que possible les fenêtres et/ou les portes. - Limitez le taux d'occupation conformément au tableau 3 (annexe 4). - Prenez immédiatement des mesures compensatoires, comme le port continu du masque dans l'attente de nouvelles mesures. - À court terme, exécuter des mesures de CO₂ ou, en cas de ventilation mécanique, des mesures de débit. 	<p>Prendre des dispositions : étapes 15 + 16</p> <p>Si système de ventilation : étape 2</p> <p>En cas de ventilation naturelle : étape 5</p>
14	La situation est acceptable, mais des dispositions complémentaires peuvent s'avérer utiles.		<p>La situation est acceptable, mais il est judicieux de prendre des dispositions complémentaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ouvrez les fenêtres et les portes si possible. - En cas de ventilation naturelle, prévoyez une ventilation mécanique et une éventuelle purification de l'air. 	
15	Amélioration des dispositifs de ventilation		<p>Dresser un plan d'action pour prévoir les équipements de ventilation afin que l'on puisse ventiler sans ouvrir les fenêtres ou les portes. Cette démarche permettra d'améliorer les performances des personnes présentes, mais aussi de freiner les contaminations par la grippe ou</p>	<p>Mesures permanentes : étape 7</p> <p>Mesures aléatoires : étape 10</p> <p>Réévaluation : étape 2</p>

			d'autres maladies infectieuses. On peut en outre alors ventiler correctement dans toutes les conditions climatiques.	
16	Prévoir une purification de l'air supplémentaire	<p>Pour satisfaire à la condition visant à ce que le CO₂,équivalent ne dépasse pas 1200 ppm, il faut répondre aux trois conditions suivantes :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. $Q_{mec} + CADR \geq 25 * MET * N$ 2. $Q_{mec} \geq 15 * MET * N$ 3. $CA DR \geq 25 * MET * N - Q_{mec}$ 	<p>Le CO₂,équivalent peut alors être calculé avec la formule suivante :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. $CO_{2,équivalent} = \text{Min} \left(\frac{Q_{mec} + CADR}{Q_{mec}}, 500, 800 \right) + 400$ <p>Cf. la liste des appareils approuvés sur le site web du SPF Santé publique.</p>	

Si des mesures permanentes ou périodiques de la concentration en CO₂ doivent être effectuées selon le plan d'action ci-dessus :

Contrôle de la ventilation sur la base de mesures de la concentration en CO ₂	
	À compléter
Un responsable est désigné pour le suivi des mesures ventilation/CO ₂ . Nom du responsable ?	
Des mesures de contrôle de la concentration en CO ₂ sont régulièrement effectuées et consignées dans un registre.	
Un suivi est prévu si des dépassements répétés ont été constatés dans les pièces.	
Décrivez les actions entreprises.	

ANNEXE 2 : Conseils visant à encourager l'adoption des bonnes pratiques

Comment encourager l'adoption des bonnes pratiques et faire en sorte que l'ensemble de votre organisation participe à la bonne ventilation des locaux ? Quelques conseils !

Informez chacun sur l'utilité de la ventilation et de l'aération. De quel système de ventilation le bâtiment est-il équipé ? Que peuvent faire les collaborateurs en matière de ventilation ? Convenez par exemple d'accords sur l'ouverture des fenêtres et/ou des portes et communiquez-les à tout le monde.

Encouragez l'utilisation des appareils de mesure du CO₂ et mettez-les à disposition. Organisez une formation sur l'utilisation des appareils de mesure du CO₂. Donnez des conseils pour utiliser les appareils de mesure du CO₂ dans votre organisation. Discutez des expériences liées à l'utilisation de ces appareils de mesure du CO₂.

Prenez des dispositions si les appareils de mesure du CO₂ révèlent régulièrement des valeurs élevées ou passent au rouge/orange. Recherchez l'origine du problème :

- En cas de ventilation naturelle, les causes potentielles sont : des possibilités de ventilation insuffisantes, des fenêtres fermées en raison du bruit extérieur, etc. Pour plus d'informations à ce sujet, on consultera la page [« Het effect van het gebruik van een CO₂-meter op het ventilatie-en verluchtingsgedrag in de klas »](#).
- Les problèmes possibles concernant les systèmes de ventilation mécaniques sont les suivants : filtres bouchés, trop peu de débit de ventilation, mauvais réglage, système de ventilation désactivé, position trop basse du sélecteur de vitesses, grilles fermées ou recouvertes d'un système de type C, flux d'air insuffisant en cas de portes intérieures fermées, etc. Dans le cas d'une installation avec régulation sur base du CO₂, il est possible que les réglages doivent être adaptés. Vérifiez les points suivants : votre système est-il de type C ou D ? Le système est-il contrôlé en fonction de la demande et selon quel paramètre : concentration en CO₂, taux d'occupation ou autre ? Est-il adaptable pour chaque local ou pour une partie du bâtiment ou est-il contrôlé de manière centralisée ? Contactez l'entreprise de maintenance si nécessaire.

Convenez d'accords concernant le taux d'occupation des locaux.

Désignez un ou une responsable de la politique de ventilation. Désignez un ou une responsable du fonctionnement du système de ventilation.

Désignez une personne de référence pour les plaintes et l'assistance en matière de ventilation et d'aération, y compris l'utilisation des appareils de mesure du CO₂.

Prenez des dispositions avec le service de nettoyage pour l'entretien des grilles et des bouches de ventilation. Reprenez cette tâche dans leur planning.

Organisez l'entretien du système de ventilation. Définissez dans le programme d'entretien (et le contrat d'entretien) la fréquence d'inspection et de remplacement des pièces (telles que les filtres).

ANNEXE 3 : Outil BSOH pour la prédiction de l'évolution de la concentration en CO₂

L'[outil de calcul](#) CO_{2sim} de la [BSOH](#) (*Belgian Society for Occupational Health*, l'association scientifique belge pour l'hygiène du travail) permet d'évaluer l'évolution de la concentration en CO₂ dans le temps. Un grand nombre de variables jouent un rôle à cet égard et peuvent être sélectionnées dans l'outil de calcul.

Les principales variables sont :

- le volume du local
- le débit de ventilation en m³/h
- le nombre de personnes présentes dans le local
- la concentration en CO₂ initiale
- les caractéristiques des personnes présentes (adultes/enfants, niveau d'activité)

En ce qui concerne l'impact de l'activité sur la production de CO₂, la valeur MET est importante. La valeur MET (Metabool Equivalent Task) mesure la quantité d'énergie qu'un effort physique donné requiert pour un adulte.

La production de CO₂ évolue de manière linéairement proportionnelle avec la valeur MET. La valeur MET est l'un des paramètres dans l'outil de calcul.

L'[outil](#) est assez simple à utiliser. Sur la page d'accueil, il faut faire un choix entre le modèle empirique et le modèle scientifique. Le modèle empirique contient les classes d'activités déterminées dans ce texte. Il permet en outre de relier automatiquement plusieurs simulations entre elles.

- Il faut pour cela conserver le graphique après la 1^{ère} simulation (« Add to combined plot » qui apparaît en bas de la page).
- On peut ensuite modifier les données dans les onglets « Subjects », « Room » et « Simulate », où la simulation part de la valeur finale de la première simulation. En cliquant sur « Add to combined plot », le graphique est ajouté au graphique précédent.
- Cette procédure peut être répétée plusieurs fois.
- La figure 5 est un exemple et le résultat de trois simulations :
 - o 1^{ère} simulation : 40 personnes pendant 90 minutes dans un local de 1800 m³ et ventilation mécanique avec air extérieur 800 m³/h.
 - o 2^e simulation : local inoccupé avec le même débit de ventilation pendant une heure.
 - o 3^e simulation : local inoccupé avec un débit de ventilation augmenté à 4000 m³/h pendant une heure.

Exemple

Si $Q_{\text{mec}} = 800 \text{ m}^3/\text{h}$, le taux d'occupation nominal dans le cas d'une activité calme est $N_{900} = 800/40 = 20$ personnes. Un taux d'occupation plus élevé est autorisé temporairement à condition que la concentration en CO₂ soit contrôlée (**ÉTAPE 6**). L'outil CO_{2sim} de la BSOH permet d'estimer la durée maximale pendant laquelle un taux d'occupation plus important peut être envisagé.

La figure 3 montre l'évolution de la concentration en CO₂ dans un local relativement grand (20 mètres de long, 15 mètres de large et 6 mètres de haut, soit 1800 m³) disposant d'un système de ventilation mécanique d'un débit de 800 m³/h ($N_{900} = 20$ personnes) lorsque 40 personnes sont présentes.

La simulation révèle que la concentration en CO₂ n'atteindra 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure) qu'au bout de 90 minutes environ.

Lorsque les personnes quittent le local et que le système de ventilation reste actif (800 m³/h), la concentration en CO₂ diminue, mais assez lentement.

Le graphique montre également l'évolution de la concentration en CO₂ lorsque le local est ventilé de manière intensive (fenêtres et/ou portes ouvertes équivalant à un débit de 4000 m³/h) après environ 60 minutes d'inoccupation. La concentration en CO₂ revient alors beaucoup plus rapidement à une valeur proche de 400 ppm.

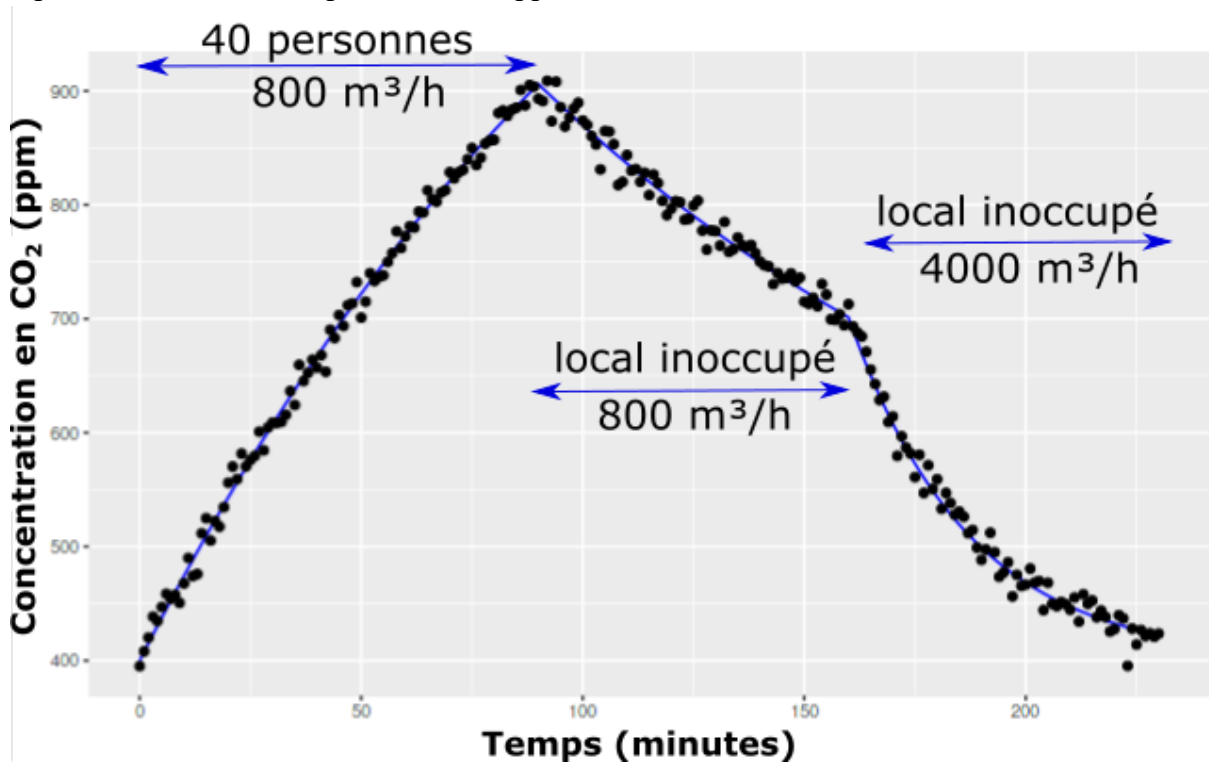


Fig. 5. L'évolution de la concentration de CO₂ avec un taux d'occupation et un débit de ventilation variables.

ANNEXE 4 : Détermination de la capacité nominale avec fenêtres et portes extérieures ouvertes

En l'absence d'informations sur les débits de ventilation mécanique ou sur les concentrations en CO₂, seule l'ouverture des fenêtres et/ou des portes extérieures permet d'assurer une ventilation suffisante.

Le débit de ventilation dépend de nombreux paramètres tels que la vitesse du vent, les températures intérieure et extérieure, la typologie de l'ouverture des fenêtres ou des portes (oscillo-battant, battant, porte coulissante, etc.), la taille et l'emplacement des baies, etc.

Dans le cadre de la rédaction de ce document, une estimation sécuritaire (plutôt basse) a été réalisée, sur la base de la norme européenne EN 15242 en retenant les hypothèses suivantes :

- La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est de 3°C, soit ce qui est caractéristique d'une situation estivale.
- Le temps n'est pas venteux.
- Chaque fenêtre est évaluée séparément en supposant que toutes les baies sont situées sur la même façade (ventilation d'un seul côté).

Dans ces conditions, la formule suivante peut être appliquée :

$$\text{Débit} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = Q_{\text{ouvert}} = 1800 * A_{\text{ouvert}} * \sqrt{0,0035 * H_{\text{ouvert}} * (T_{\text{intérieur}} - T_{\text{extérieur}})}$$

avec $T_{\text{intérieur}} - T_{\text{extérieur}} = 3^{\circ}\text{C}$:

$$\text{Débit} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = Q_{\text{ouvert}} = 184 * A_{\text{ouvert}} * \sqrt{H_{\text{ouvert}}}$$

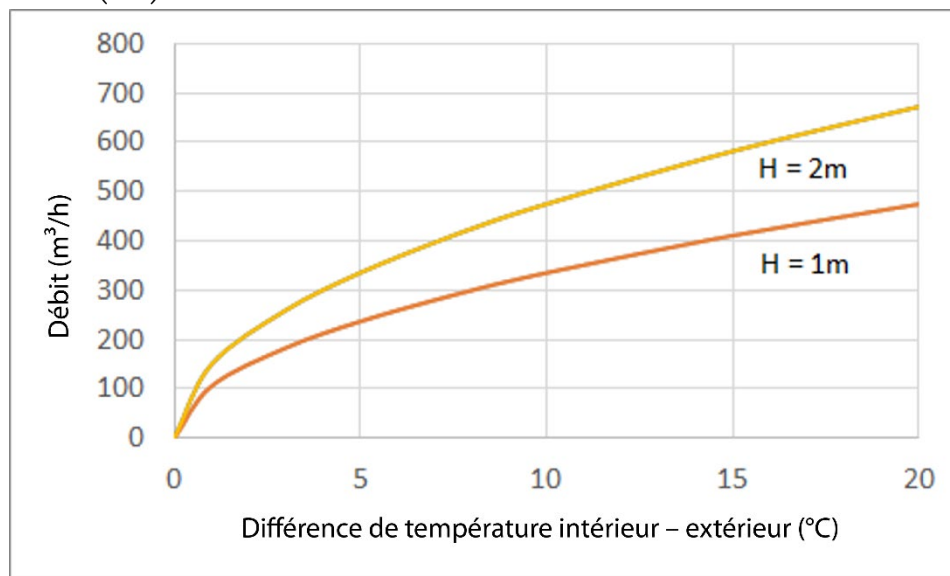


Fig. 6. L'évolution du débit en fonction de la différence de température intérieur-extérieur pour une fenêtre de hauteur 1m (orange) et de hauteur 2m (jaune).

La capacité nominale correspondant à une activité assise calme (1,63 MET) est égale à :

$$N_{900} = N_{900,formule} = 5 * A_{\text{ouvert}} * \sqrt{H_{\text{ouvert}}}$$

La règle pratique suivante peut être utilisée :

- Fenêtres ouvertes : N_{900} , règle pratique = $4 * A_{ouvert}$ (correspond à une hauteur de baie de 75 cm)
- Portes ouvertes : N_{900} , règle pratique = $7 * A_{ouvert}$ (correspond à une hauteur de baie d'environ 2 mètres).

Sur la base de la formule, le tableau 3 donne une indication de la capacité nominale pour une activité assise calme en fonction de la surface nette d'une baie de fenêtre ouverte (A_{ouvert}) et de la hauteur de la baie (H_{ouvert}).

Tableau 3 Capacité nominale admissible pour toute fenêtre ou porte extérieure ouverte en permanence.

Hauteur de la baie H_{ouvert}	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
N_{900} , règle pratique par m^2 de surface de baie nette	3,5	5,0	6,1	7,1	7,9	8,7

Pour les espaces d'une autre classe d'activité (cf. étape 1), la capacité nominale se présente comme suit :

$$N_{900} = Q_{ouvert} / V_{900}$$

Avec comme règles pratiques :

- Fenêtres ouvertes : N_{900} , règle pratique = $A_{ouvert} * 160 / V_{900}$
- Portes ouvertes : N_{900} , règle pratique = $A_{ouvert} * 260 / V_{900}$

Le calcul doit être effectué pour chaque fenêtre et chaque porte extérieure lorsqu'il y en a plusieurs. Il est important de souligner que c'est l'ouverture nette qui doit être prise en compte et non la surface brute de la fenêtre. Pour les fenêtres ouvertes en oscillo-battant, A_{ouvert} est fonction de l'ouverture nette dans la partie supérieure du châssis L_{haut} , où $A_{ouvert} = L_{haut} * (H_{ouvert} * B_{ouvert})$.

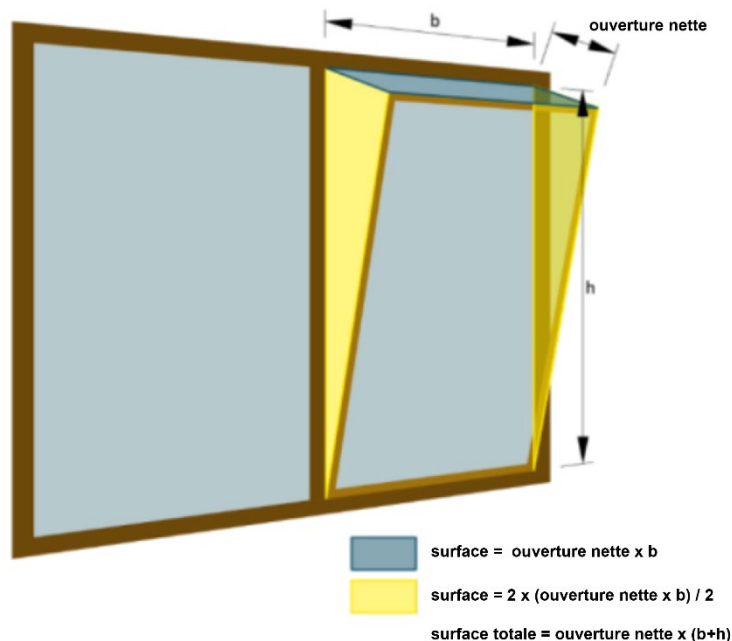


Fig. 7. Calcul de la surface ouverte totale d'une fenêtre en position basculante

Exemple (voir tableau 4) :

Considérons un local comportant deux fenêtres et une porte extérieure :

- Dimensions brutes :
 - Fenêtre battante : largeur 90 cm et hauteur 120 cm
 - Fenêtre oscillo-battante : largeur 90 cm et hauteur 120 cm
 - Porte extérieure : largeur 90 cm et hauteur 202 cm
- Ouvertures nettes :
 - Fenêtre battante complètement ouverte : largeur d'ouverture nette $B_{\text{ouvert}} = 80$ cm et hauteur d'ouverture nette $L_{\text{ouvert}} = 105$ cm $\rightarrow A_{\text{ouvert}} = 0,8 * 1,05 = 0,84$ m²
 - Fenêtre oscillo-battante : largeur d'ouverture nette $B_{\text{ouvert}} = 80$ cm et hauteur d'ouverture nette $L_{\text{ouvert}} = 110$ cm, en supposant que l'ouverture nette dans la partie supérieure soit de 6 cm $\rightarrow A_{\text{ouvert}} = 0,06 * (0,80 + 1,10) = 0,11$ m²
 - Porte extérieure complètement ouverte : largeur $B_{\text{ouvert}} = 80$ cm et hauteur $L_{\text{ouvert}} = 200$ cm : $\rightarrow A_{\text{ouvert}} = 1,60$ m².

	$A_{\text{ouvert}} \text{ (m}^2\text{)}$	N_{900} , règle pratique	N_{900} , formule
Fenêtre battante complètement ouverte	0,84	3,4	4,3
Fenêtre oscillo-battante, ouverture nette 6 cm dans la partie supérieure	0,11	0,4	0,6
Porte complètement ouverte	1,60	112	11,3
TOTAL	2,55	15,0	16,1

Tableau 4 Comparaison entre le calcul de la capacité nominale admissible basé sur la règle pratique et celui basé sur la formule.

Le calcul via la formule donnera dans la plupart des cas une capacité nominale un peu plus grande que lors de l'utilisation de la règle pratique.

Les estimations du débit données ici et la capacité nominale qui en est déduite sont, comme nous l'avons dit, sécuritaires. En fonction des conditions climatiques, les débits relevés peuvent être considérablement plus élevés. C'est surtout le vent qui peut avoir une influence importante, certainement lorsque des fenêtres sont ouvertes aux côtés opposés d'une pièce (ventilation transversale). Les mesures de CO₂ permettent d'évaluer l'effet de l'ouverture des fenêtres et de tester différents scénarios d'ouverture de fenêtre pour en arriver ainsi à une stratégie de ventilation (cf. annexe 10).

La figure suivante indique la variation de la ventilation en fonction de la vitesse du vent et de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, et des modèles de ventilation caractéristiques. La figure illustre qu'à de faibles vitesses du vent, le débit de ventilation est principalement déterminé par les différences de température (« traction thermique »). À des vitesses de vent supérieures, le débit de ventilation augmente proportionnellement et l'influence de la température est inférieure.

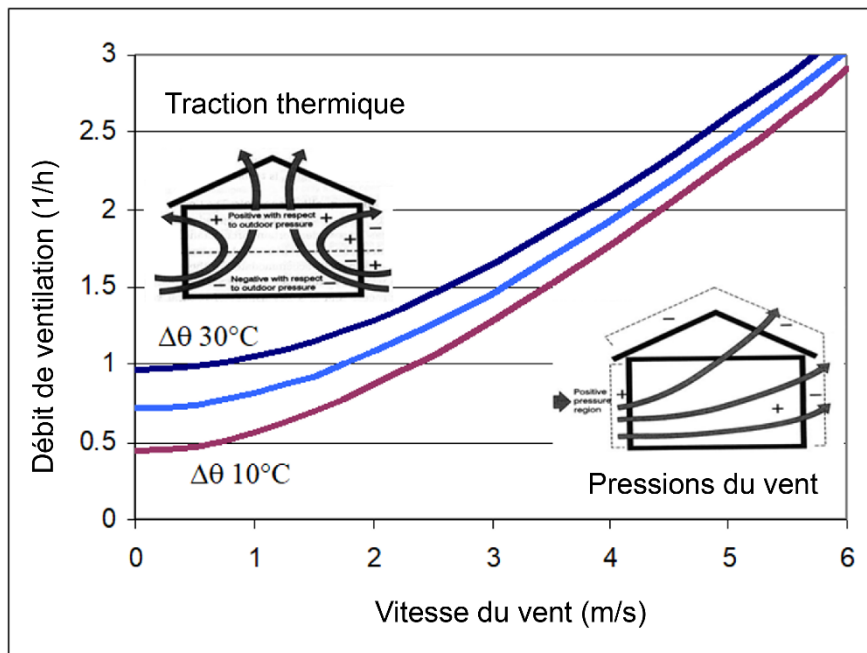


Fig. 8. Évolution du taux de ventilation en fonction de la différence de température et de la vitesse du vent.

En ouvrant les fenêtres et les portes, des débits d'aération considérables peuvent donc être créés, souvent bien plus grands que les débits distribués par un système de ventilation mécanique. Il existe toutefois aussi des points d'attention concernant la qualité de l'air intérieur, notamment au niveau de la répartition de l'air. Vu que l'arrivée d'air via les fenêtres ou les portes ouvertes se fait d'un côté de la pièce, chaque point dans la pièce n'est pas approvisionné en air frais de manière aussi efficace. Il y aura près de la fenêtre ouverte une plus grande garantie d'arrivée efficace d'air frais que plus loin dans la pièce. Les pièces très profondes ne peuvent donc pas être correctement pourvues en air frais via les fenêtres et les portes ouvertes. La règle est que la profondeur de la pièce ne dépasse pas deux fois la hauteur de la pièce en cas de ventilation d'un seul côté, et ne dépasse pas cinq fois la hauteur de la pièce en cas de ventilation transversale (cf. figure CIBSE AM10).

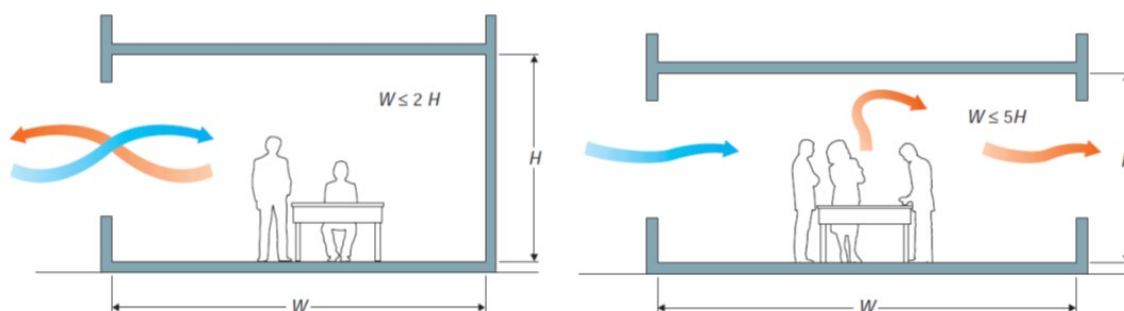


Fig. 9. la profondeur maximale d'un local qui peut encore être approvisionné en air frais de manière naturelle

ANNEXE 5 : Détermination du débit de ventilation ou de la capacité nominale sur la base des mesures de CO₂

Une estimation des débits et/ou de la capacité nominale peut en principe être assurée dans trois régimes différents (Figure 2) :

- A. À une concentration en CO₂ plus ou moins stationnaire
- B. Après une période d'occupation de la salle
- C. Lors de la mise en service du local

A. Définition des débits et/ou capacité nominale à une concentration en CO₂ plus ou moins stable.

Lorsque la concentration en CO₂ s'est plus ou moins stabilisée en cas d'occupation constante, le débit de ventilation mécanique peut être évalué. Cela suppose que l'on connaisse le nombre de personnes présentes et leur niveau d'activité (valeur MET avec production de CO₂ correspondante).

Aspects importants et conditions limites :

- Une détermination du débit Q_{mec} n'est possible avec suffisamment de précision que si la différence entre les concentrations en CO₂ à l'intérieur et à l'extérieur est assez grande (≥ 300 ppm).
- Il convient de surveiller l'évolution de la concentration en CO₂ à intervalles réguliers ou de manière continue afin d'établir si un régime stationnaire a bien été atteint. Si ce régime stationnaire n'est pas atteint, cette méthode ne peut PAS être utilisée.
- Il importe que l'analyse soit effectuée par une personne suffisamment expérimentée.
- Si l'on a le choix entre la mesure directe du débit (ÉTAPE 3.2) et la mesure basée sur la concentration en CO₂ (ÉTAPE 3.3), on privilégiera la mesure directe.

En cas de concentration en CO₂ stable, il est possible d'estimer le débit de ventilation mécanique sur la base de la formule suivante :

$$Q_{mec} = \frac{500 * 40 * MET * N}{1,63 * (CO_{2,intérieur} - CO_{2,extérieur})}$$

MET étant la valeur MET moyenne (cf. tableau 2) de l'activité effectuée dans le local, N le nombre de personnes présentes et $CO_{2,intérieur}$ et $CO_{2,extérieur}$ la concentration en CO₂ respectivement à l'intérieur et à l'extérieur exprimée en ppm.

Exemple de détermination du débit à partir de mesures du CO₂

Si l'on mesure une différence de concentration en CO₂ entre l'intérieur et l'extérieur de 400 ppm en régime stationnaire dans une salle dont les fenêtres et les portes sont fermées, qui est dotée d'une ventilation mécanique et qui est occupée par 10 personnes (N = 10) exerçant une activité calme (1,63 MET), on obtient un débit d'environ 50 m³/h par personne. Le débit de ventilation mécanique total Q_{mec} équivaut à :

- Selon le tableau 1 : $Q_{mec} = 10 * 50 = 500$ m³/h
- Selon la formule : $Q_{mec} = (20.000 * 1,63 * 10) / (1,63 * 400) = 500$ m³/h.

On peut aussi effectuer une estimation directe de la capacité nominale. On multiplie alors le nombre de personnes par $500/\Delta CO_2$, où ΔCO_2 est la différence mesurée dans la concentration

de CO₂ entre l'intérieur et l'extérieur. Cette approche présente comme avantage que l'on ne doit pas faire d'estimation de la valeur MET, supposant implicitement que le type d'activité (valeur MET) ne change pas.

B. Estimation du débit de ventilation en cas de salle vide

La définition du débit exige que l'on connaisse le volume de la pièce.

C. Estimation du débit de ventilation et/ou de la capacité nominale lors de la mise en service de la pièce

Il est important à ce niveau de connaître le nombre de personnes présentes et le volume de la pièce.

Pour les trois méthodes, et certainement pour les méthodes B et C, il peut y avoir une assez grande incertitude dans les résultats obtenus. Il faut l'expertise nécessaire pour pouvoir exécuter un rapportage correct.

ANNEXE 6 : Code sur le bien-être au travail

Domaine d'application du Code sur le bien-être au travail

Les exigences du Code s'appliquent à tous les locaux de travail occupés par des travailleurs. Il incombe à l'employeur de veiller à ce que les locaux soient conformes à ces exigences. Celles-ci peuvent bien entendu être considérées comme règles de bonne pratique dans toutes les autres situations.

Exigences dans le Code sur le bien-être au travail concernant la qualité de l'air intérieur ?

Le Code impose des valeurs limites en ce qui concerne la concentration maximale admissible en CO₂ :

- D'une manière générale : maximum 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure) de CO₂ ou une augmentation maximale par rapport à la concentration extérieure de 500 ppm. Pour les activités légères, cela correspond à un débit de ventilation de 40 m³/h par personne.
- Pour les pièces à faibles émissions : max. 1200 ppm de CO₂ ou une augmentation maximale par rapport à la concentration extérieure de 800 ppm. Pour les activités légères, cela correspond à 25 m³/h par personne.

Pour plus d'informations au sujet de l'approche définie dans le Code, on consultera le [site Internet du SPF ETCS](#) et, en particulier, la [directive pratique](#) qui peut servir de guide lors de l'analyse des risques.

Dans un premier temps, l'employeur procédera à une analyse des risques. Il examinera à cet effet l'ensemble des facteurs susceptibles d'influencer la qualité de l'air intérieur :

- ventilation du local
- contamination par les personnes présentes
- contamination par des appareils ou des matériaux
- contamination en provenance des systèmes de ventilation, de traitement de l'air et de chauffage
- qualité de l'air (extérieur) fourni

Dans la pratique, il s'agit d'une analyse rapide qui consiste à rassembler la documentation relative au bâtiment, à effectuer des inspections visuelles et à interroger les travailleurs. Si nécessaire, on réalisera aussi des calculs ou des mesures.

À la suite de l'analyse des risques, des dispositions doivent être prises au travers d'un plan d'action comprenant des mesures techniques, telles que l'installation d'un système de ventilation, ainsi que des mesures organisationnelles comme l'entretien adéquat des installations et l'utilisation correcte du bâtiment et de ses installations.

Pour le développement de l'analyse des risques et du plan d'action, l'employeur fera appel au service de prévention interne ou externe compétent. Les partenaires sociaux doivent être impliqués dans ce processus.

Application dans le cadre du présent document

Conformément à la directive pratique, un système de ventilation mécanique permet de répondre aux exigences du Code sur le bien-être au travail s'il fournit un débit de 40 m³/h.personne (exigence de 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure)) ou de 25 m³/h.personne (exigence de 1200 ppm ou 800 ppm au-dessus de la concentration extérieure). Si l'on connaît le débit de ventilation mécanique, on peut également établir la capacité nominale N₉₀₀ ou N₁₂₀₀.

ANNEXE 7 : Estimation du risque de contamination et situations spécifiques

Dans certaines circonstances, il peut s'avérer impossible d'adapter rapidement un local ou un poste de travail pour répondre aux exigences énoncées ci-avant. Dans ce cas, il convient de trouver un équilibre entre :

- les dimensions du local
- le niveau de ventilation
- l'humidité de l'air
- l'activité, et donc la fréquence et l'intensité de la respiration
- le port ou non de masques buccaux et le type de masques
- la durée de présence

Une évaluation approximative du risque de contamination peut être obtenue à l'aide de divers outils de calcul, notamment ceux du [MIT](#) et de [REHVA](#). Il importe néanmoins de souligner que ces outils n'offrent aucune certitude. Ces outils sont surtout utiles pour comparer l'importance relative des différentes mesures entre elles.

Dans tous les cas, une attention particulière doit être accordée aux zones de travail réfrigérées telles que les salles de découpe des abattoirs et des boucheries ou encore certaines zones du secteur alimentaire comme les boulangeries industrielles, les lieux de production d'aliments surgelés, etc. Ces lieux présentent en effet un risque accru, étant donné que l'on y utilise un système de circulation d'air continue peu ou pas alimenté par de l'air extérieur, que le bruit de fond qui y règne oblige les travailleurs à crier davantage et, enfin, que le virus reste stable plus longtemps à des températures plus basses.

Par ailleurs, il convient d'également accorder de l'attention à la ventilation dans les véhicules et à la ventilation dans les réfectoires et les espaces de détente.

Lors du transport collectif de personnes ne vivant pas sous le même toit, il est essentiel, en plus des directives existantes, de régler la ventilation au niveau maximum et de conduire, dans la mesure du possible, le véhicule avec les fenêtres ouvertes (même si ce n'est que d'un cran).

ANNEXE 8 : Niveaux de CO₂ admis en cas de combinaison de la ventilation et de la purification de l'air

L'application de la purification de l'air n'entraîne pas de diminution de la concentration de CO₂. Si l'on impose 900 ppm (à une concentration extérieure de 400 ppm) comme valeur limite pour la concentration CO₂ maximale sans purification de l'air, en cas d'utilisation de la purification de l'air une valeur plus élevée de CO_{2,équivalent} (la valeur limite CO₂ équivalente si purification de l'air) peut être utilisée. Cependant, la valeur CO_{2,équivalent} ne peut pas dépasser 1200 ppm.

La part de la purification de l'air est caractérisée par la valeur CADR.

Les activités dans une pièce sont caractérisées par le nombre de personnes N et leur activité (valeur MET).

Pour satisfaire à la condition visant à ce que le CO_{2,équivalent} ne dépasse pas 1200 ppm, il faut répondre aux trois conditions suivantes :

2. $Q_{mec} + CADR \geq 25 \cdot MET \cdot N$
3. $Q_{mec} \geq 15 \cdot MET \cdot N$
4. $CADR \geq 25 \cdot MET \cdot N - Q_{mec}$

Le CO_{2,équivalent} peut alors être calculé avec la formule suivante :

$$5. CO_{2,équivalent} = \text{Min} \left(\frac{Q_{mec} + CADR}{Q_{mec}} \cdot 500, 800 \right) + 400$$

Le tableau ci-dessous illustre pour différentes valeurs MET et débits totaux souhaités la valeur CO_{2,équivalent}.

CADR m ³ /h.personne	Valeur MET et débits totaux en m ³ /h						
	1,5	1,63	1,8	3,0	4,1	5,2	7,3
	37	40	44	74	101	101	180
0	900	900	900	900	900	900	
1	914	913	912	907	905	905	
2	929	926	924	914	910	910	
3	944	941	937	921	915	915	
4	961	956	950	929	921	921	
5	978	971	964	936	926	926	
6	997	988	979	944	932	932	
7	1017	1006	995	952	937	937	
8	1038	1025	1011	961	943	943	
9	1061	1045	1029	969	949	949	
10	1085	1067	1047	978	955	955	
12	1140	1114	1088	997	967	967	
14	1200	1169	1133	1017	980	980	942
15	1200	1200	1159	1027	987	987	945
16	1200	1200	1186	1038	994	994	949
18	1200	1200	1200	1061	1008	1008	956
20	1200	1200	1200	1085	1023	1023	963
22	1200	1200	1200	1112	1039	1039	970
24	1200	1200	1200	1140	1056	1056	977
26	1200	1200	1200	1171	1073	1073	984
28	1200	1200	1200	1200	1092	1092	992
30	1200	1200	1200	1200	1111	1111	1000
35	1200	1200	1200	1200	1165	1165	1021
40	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1043
45	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1067
50	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1092
55	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1120
60	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1150
65	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1183
70	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
75	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Tableau 5 : CO₂,équivalent en fonction de la valeur MET et CADR par personne

S'il y a une ventilation mécanique, la procédure à suivre est la suivante.

1. Mesurez le débit de ventilation mécanique à l'air extérieur Q_{mec} présent (ex. 600 m^3/h).
2. Déterminez le nombre maximal de personnes N_{max} pour lequel vous souhaitez utiliser le local (ex. $N_{\text{max}} = 20$ personnes).
3. Déterminez le débit de ventilation mécanique par personne ($Q_{\text{mec}}/N_{\text{max}} = 600/20 = 30$ m^3/h).
4. Déterminez la valeur MET et V_{900} (cf. étape 1) Par exemple, travail de bureau : 1.63 MET et $V_{900} = 40$ m^3/h
5. Le CADR minimal nécessaire en purification de l'air est la différence entre V_{900} et Q_{mech} par personne (au moins 10 m^3/h)
6. Dans le tableau 1, on trouve le $\text{CO}_{2,\text{équivalent}}$ en fonction du CADR effectivement installé par personne et de la valeur MET (si CADR par personne 10 m^3/h : 1067 ppm).

Si l'on souhaite communiquer pour un certain local le $\text{CO}_{2,\text{équivalent}}$, il est nécessaire de fournir les informations suivantes :

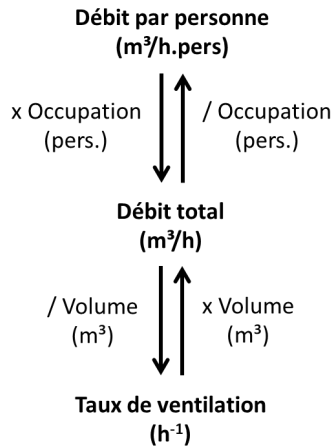
1. Appareils présents pour la purification de l'air avec valeur CADR correspondante pour la position dans laquelle l'appareil est utilisé (si la valeur CADR est uniquement indiquée en position maximale, l'appareil doit aussi fonctionner en position maximale).
2. Type d'activités avec valeur MET correspondante.
3. Nombre maximal de personnes pouvant être présentes avec utilisation du $\text{CO}_{2,\text{équivalent}}$ (éventuellement, le $\text{CO}_{2,\text{équivalent}}$ peut être indiqué pour différentes occupations).

ANNEXE 9: Taux de ventilation

Qu'est-ce que le taux de ventilation ?

La notion de « taux de ventilation », « n », est parfois utilisée. Il s'agit du nombre de fois par heure que l'air est renouvelé dans un espace.

Le taux de ventilation (h^{-1}) est égal au débit total dans l'espace (m^3/h), divisé par le volume de l'espace (m^3). Pour rappel, le débit total dans l'espace (m^3/h) est égal au débit par personne ($m^3/h.pers$), multiplié par le nombre de personnes présentes, l'occupation. Voir schéma.



Peut-on fixer un taux de ventilation minimum ?

Dans le contexte de la ventilation, et pour limiter le risque de contamination au covid-19, c'est principalement le débit par personne qui est pertinent.

Pour un même débit par personne, le taux de ventilation peut donc fortement varier en fonction de la capacité et du volume de l'espace.

Il n'est donc pas possible de fixer une valeur minimum du taux de renouvellement d'air, valables pour toutes ces situations différentes.

Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs pour des cas typiques.

Pour un type d'espace avec des dimensions et une occupation relativement reproductibles, le taux de ventilation sera néanmoins relativement constant. Par exemple, pour une classe d'école (voir tableau), ce taux de ventilation s'élève à environ 6 h^{-1} pour un débit de 40 m^3/h par personne.

Type d'espace	Aire de plancher (m^2)	Hauteur (m)	Volume (m^3)	Nombre de personnes	Débit par personne ($m^3/h.pers$)	Débit total (m^3/h)	Taux de ventilation (h^{-1})
Petite salle de réunion	40	2.5	100	20	40	800	8
Grand hall	150	8	1200	15	40	600	0.5
Grand hall	150	8	1200	120	40	4800	4

Classe d'école	55	3	165	25	40	1000	6
----------------	----	---	-----	----	----	------	---

Application du taux de ventilation

La notion de taux de ventilation est néanmoins utile pour estimer les phénomènes transitoires qui se produisent au début de la période d'occupation d'un local, ou après l'occupation d'un local.

L'évolution de la concentration d'un composé dans un espace en fonction du temps répond à la formule suivante :

$$C_t = C_0 + (C_{\text{plateau}} - C_0) \cdot (1 - e^{-nt})$$

Où

- C_t est la concentration au temps t
- C_0 est la concentration initiale
- C_{plateau} est la concentration du plateau finale
- n est le taux de ventilation
- t le temps écoulé (heures)

Cette formule permet de calculer la concentration en fonction du temps pour ces phénomènes transitoires.

Le paramètre $1/n$ est appelé constante de temps. Il s'agit du temps pour lequel la valeur de débit de l'espace est égal à la valeur du volume de l'espace.

Mais attention, cela ne veut pas dire pour autant que après ce temps, l'ensemble de l'air de l'espace a été complètement renouvelé, car la ventilation fonctionne par dilution.

Par contre, on peut estimer que

- Lorsque $nt = 1$ (soit le temps écoulé est égal à la constante de temps ci-dessus), l'augmentation (ou la diminution) de concentration est de 63% par rapport à la valeur plateau.
- Lorsque $nt = 3$ (soit le temps écoulé est égal à 3 fois la constante de temps ci-dessus), l'augmentation (ou la diminution) de concentration est de 95% par rapport à la valeur plateau. On considère alors que le plateau est atteint.

Après combien de temps une concentration maximum relativement stable est-elle atteinte dans un espace ?

Pour le phénomène transitoire au début de la période d'occupation d'un local, la formule devient, pour le CO_2 :

$$C_t = 400 + (C_{\text{max}} - 400) \cdot (1 - e^{-nt})$$

Le tableau ci-dessous montre des exemples du temps nécessaire pour atteindre 63% et 95% d'augmentation de la concentration en CO₂ pour différents taux de ventilation et pour une concentration maximum (valeur plateau) de CO₂ de 900ppm.

Taux de ventilation n	Constante de temps 1/n	Temps pour atteindre 63% d'augmentation Soit 715 ppm	Temps pour atteindre 95% d'augmentation Soit 875 ppm
5 h ⁻¹ (Figure 10)	12 min	12 min	36 min
0.5 h ⁻¹ (Figure 10) et (Figure 12)	2h	2h	6h

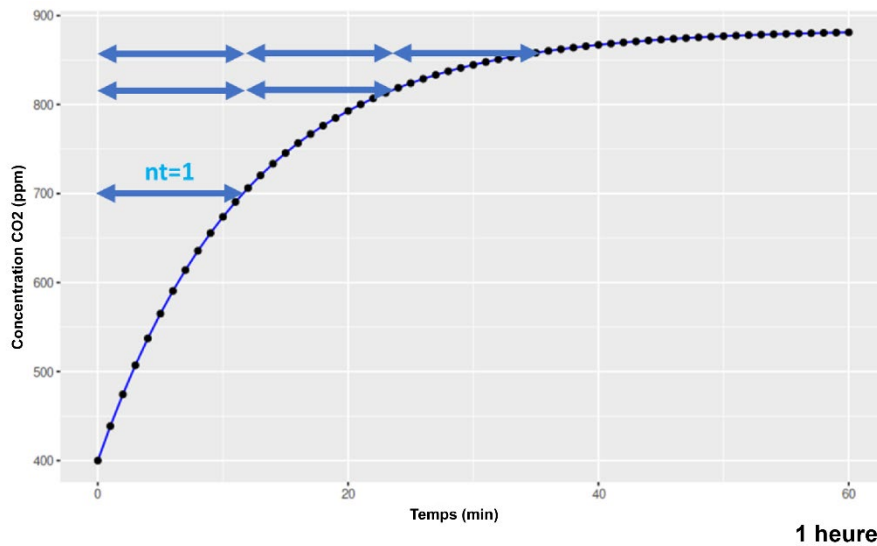


Figure 10 : Évolution de la concentration de CO₂ en cas de taux de ventilation n = 5h⁻¹. La constante de temps s'élève alors à 0,2 heure ou 12 minutes.

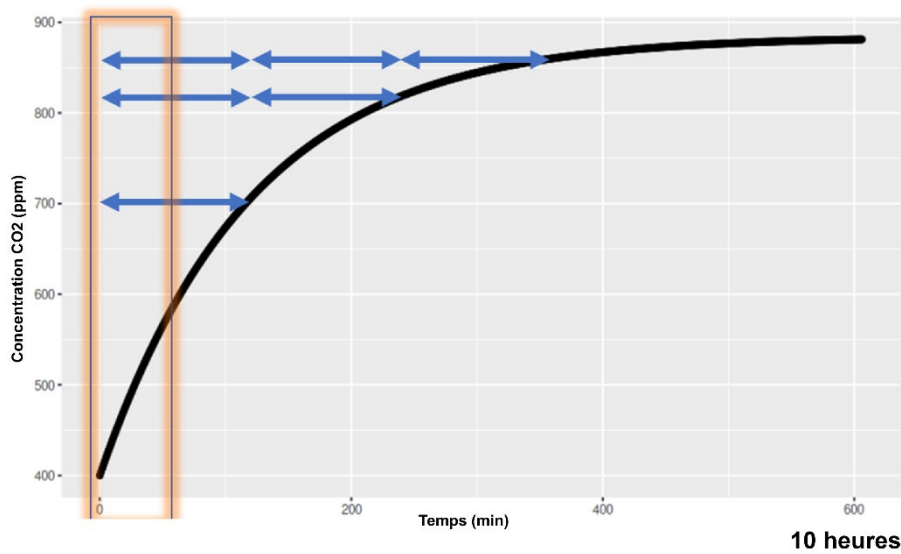


Figure 11 : Évolution de la concentration de CO₂ en cas de taux de ventilation $n = 0.5 \text{ h}^{-1}$. La constante de temps s'élève alors à 2 heures ou 120 minutes.

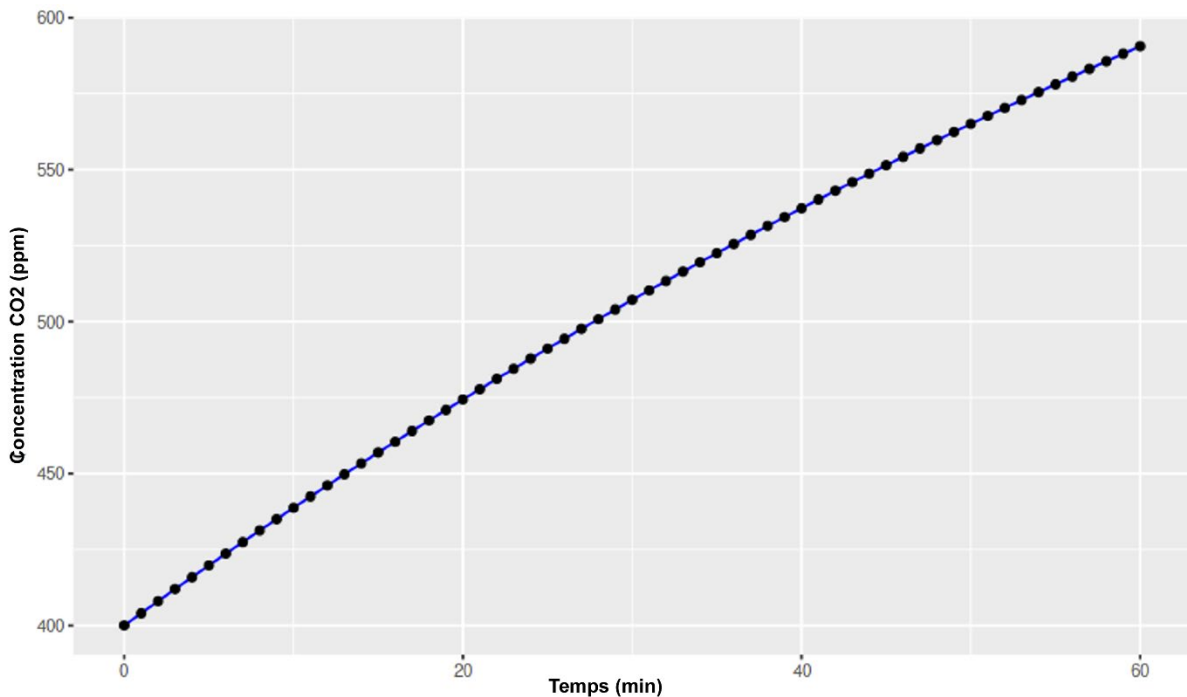


Figure 12 : Pour la même situation que dans la Figure 2, l'évolution du CO₂ pendant la 1^{ère} heure.

Après combien de temps la concentration extérieure est-elle atteinte dans un espace vide après une période d'occupation ?

Pour le phénomène transitoire après la période d'occupation d'un local, la formule devient, pour le CO₂ :

$$C_t = C_{\max} + (400 - C_{\max}) \cdot (1 - e^{-nt})$$

Le tableau ci-dessous montre des exemples du temps nécessaire pour atteindre 63% et 95% de diminution de la concentration en CO₂ pour différents taux de ventilation et pour une concentration maximum (valeur plateau) de CO₂ de 900ppm.

Taux de ventilation n	Constante de temps 1/n	Temps pour atteindre 63% de la réduction Soit 585 ppm	Temps pour atteindre 95% de la réduction Soit 425 ppm
5 h ⁻¹ (Figure 4)	12 min	12 min	36 min
0.5 h ⁻¹	2h	2h	6h

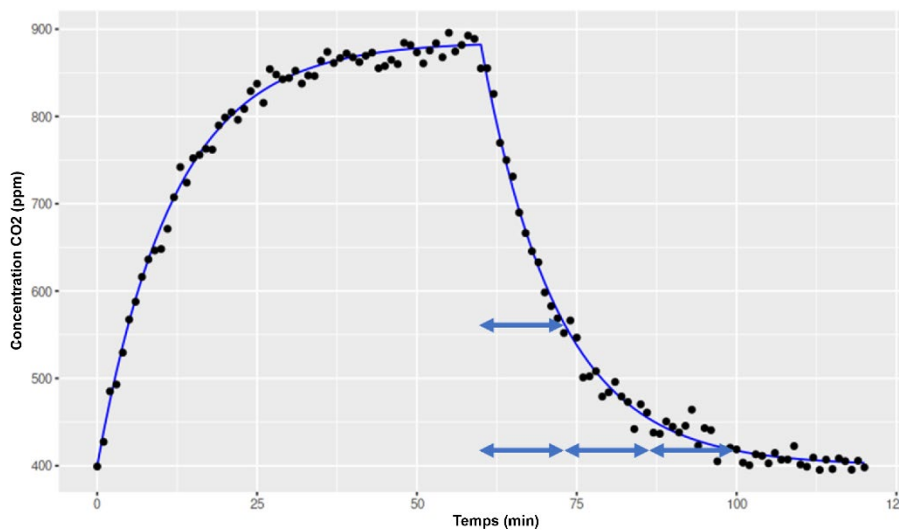


Figure 13: une fois que les occupants ont quitté la salle, la concentration en CO₂ diminue de 63% après 12 minutes et on atteint un niveau de 585 ppm. Après 36 minutes, la concentration en CO₂ diminue jusqu'à 95% , soit 425 ppm.

Qu'en est-il pour la purification de l'air ?

Pour un appareil de purification de l'air, placé dans un espace donné, il existe une notion similaire au taux de ventilation décrit ci-dessus.

Ce taux est égal au CADR de l'appareil (m³/h), divisé par le volume de l'espace (m³) dans lequel il est placé.

Taux de purification d'air = CADR / volume

Le raisonnement décrit ci-dessus pour la ventilation s'applique donc aussi pour la purification de l'air.

Et la même prudence s'impose quant à l'interprétation de ces données. Un temps de fonctionnement égal à la constante de temps du binôme appareil-espace ne veut pas dire que l'entièreté du local est purifié après ce temps, mais seulement une diminution 63% de la concentration du polluant ciblé par le purificateur d'air.

Annexe 10 - Ventilation avec portes et fenêtres - Comment procéder ?

Pendant l'étude réalisée par les autorités flamandes, plusieurs dispositions ont été testées pour déterminer si et comment il était possible de ventiler suffisamment (concentration en CO₂ sous 900 ppm) dans les locaux non équipés d'un système de ventilation. Ces dispositions peuvent être une source d'inspiration pour des dispositions qui peuvent être prises dans le cadre de l'objectif visant à assurer un volume suffisant d'air frais dans les bâtiments publics, comme les infrastructures sportives, les restaurants, etc.

Principe de fonctionnement : ouverture enclenchée - tirage thermique

Lors des études, nous sommes partis des principes de « l'ouverture enclenchée ». Lors des ouvertures enclenchées, les ouvertures de ventilation comme les fenêtres, les portes ou les grilles sont ouvertes dans les surfaces de façade opposées. Grâce au vent et aux différences de température, des flux d'air apparaissent et assurent le renouvellement de l'air (ouvertures dans les zones de surpression et de dépression).

Le « tirage thermique » est une autre manière de ventiler. On mise dans ce cas sur les différences de hauteur dans les ouvertures de ventilation, par exemple une fenêtre dans une pièce et une fenêtre dans le couloir de l'étage supérieur. Les différences de hauteur dans les ouvertures de ventilation peuvent aussi être créées dans une même pièce. L'air se déplace alors du bas vers le haut, ce qui assure le renouvellement de l'air.

Dispositions possibles

Plusieurs dispositions sont ressorties de l'étude et débouchent presque toujours sur une concentration en CO₂ assez basse (colonne « situations satisfaisantes »). Il s'est par ailleurs avéré que plusieurs dispositions pouvaient être satisfaisantes en fonction de l'espace, de la localisation de la pièce et de l'emplacement des ouvertures de ventilation (colonne « situations potentiellement satisfaisantes »). D'autres dispositions n'ont pas donné lieu à des concentrations en CO₂ assez faibles (colonne « situations jamais satisfaisantes »).

Dans toutes les situations, il est important de vérifier si les concentrations en CO₂ sont assez faibles. De plus amples informations à ce sujet sont reprises dans les autres annexes. La vérification est possible en réalisant des mesures de CO₂. Le suivi de la concentration de CO₂ est conseillé, parce que la ventilation dépend notamment des conditions climatiques.

Ouvrir les portes/fenêtres aux côtés opposés d'une pièce donne pratiquement toujours de bons résultats. Il faut que plus d'une fenêtre soit en position battante, avec une porte ouverte de l'autre côté du local. Cette mesure doit être combinée avec une aération intensive entre les différentes activités, le cas échéant (ex. dans les infrastructures sportives). La concentration en CO₂ reste de cette manière inférieure à 900 ppm. Sans aération intensive, la concentration ne baisse pas assez, si bien que vous pourriez obtenir des valeurs supérieures.

Ouvrir les portes/fenêtres d'un seul côté d'un local n'assure généralement pas un renouvellement suffisant de l'air. La seule manière de maintenir la concentration de CO₂ inférieure à 900 ppm dans ce scénario consiste à ouvrir totalement les fenêtres. Des appareils de mesure du CO₂ sont nécessaires pour tester les possibilités dans ce scénario.

Situations satisfaisantes	Situations potentiellement satisfaisantes	Situations jamais satisfaisantes
---------------------------	---	----------------------------------

Enclenché avec plusieurs fenêtres totalement ouvertes	Enclenché avec une fenêtre en oscillo-battant	Toutes les portes et fenêtres fermées
Enclenché avec plusieurs fenêtres en oscillo-battant	Unilatéralement avec plusieurs fenêtres en oscillo-battant	Pièces avec ouvertures de ventilation trop petites
Unilatéralement avec plusieurs fenêtres totalement ouvertes (moins efficace)	Application du tirage thermique	

Exemples de mesures et influence sur la concentration en CO2

Le graphique suivant donne quelques pistes possibles pour la ventilation.

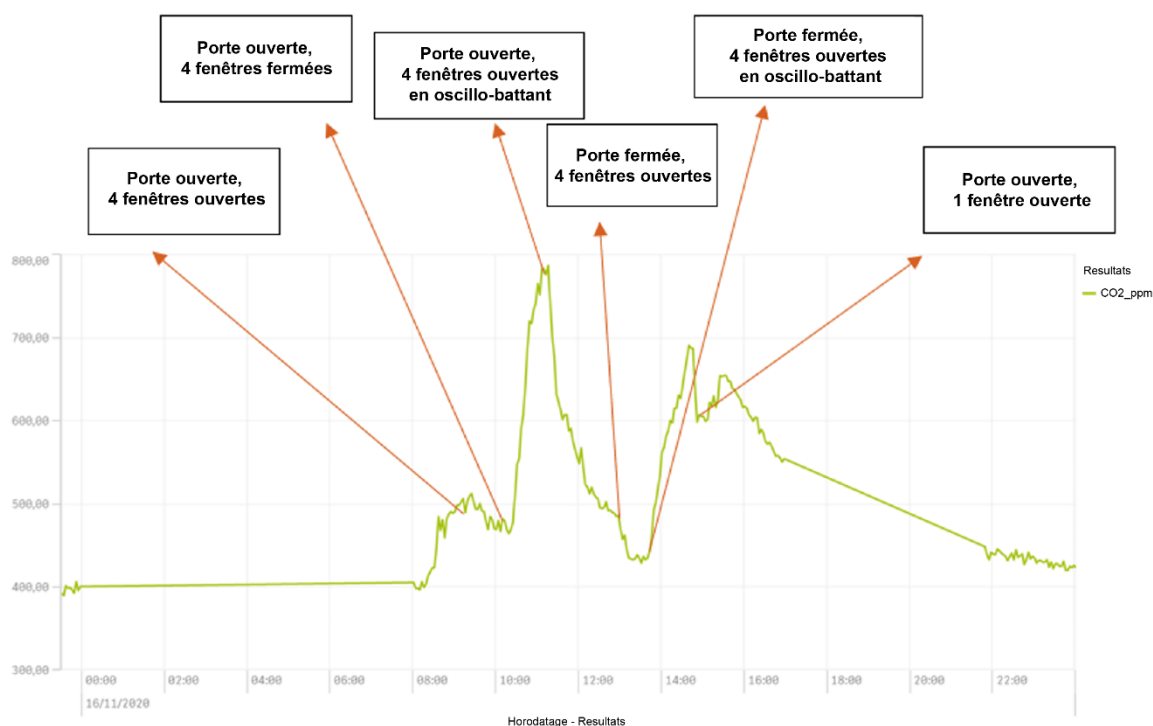


Fig. 14: évolution de la concentration de CO2 tout au long de la journée lors de l'ouverture ou de la fermeture des fenêtres ou des portes

Porte ouverte, 4 fenêtres ouvertes

Il s'agit d'une situation avec les fenêtres totalement ouvertes et une porte de l'autre côté du local. Par conséquent, la concentration de CO₂ dans la pièce est très faible, à peine plus élevée que la concentration à l'extérieur (environ 400-450 ppm). Les fenêtres ouvertes assurent beaucoup d'air frais.

Porte ouverte, 4 fenêtres fermées

Dans cette situation, il n'y a une ouverture que d'un côté de la pièce. Vous pouvez clairement observer l'augmentation sur le graphique, car il n'y a une ouverture que d'un côté de la pièce. La concentration en CO₂ augmente très vite en direction des 900 ppm.

Porte ouverte, 4 fenêtres en oscillo-battant

Pour contrer l'augmentation, les fenêtres sont à nouveau ouvertes en oscillo-battant, avec la porte, ce qui assure une diminution très rapide de la concentration de CO₂ jusqu'à pratiquement la valeur de fond.

Porte fermée, 4 fenêtres ouvertes

Cette situation indique que la ventilation dans une seule surface fonctionne aussi, mais uniquement si les fenêtres sont totalement ouvertes. Cette situation équivaut à l'aération intensive (vous pouvez le faire si c'est possible, compte tenu l'utilisation de la pièce).

Porte fermée, 4 fenêtres en oscillo-battant

C'est à nouveau une situation où les fenêtres sont en oscillo-battant, mais seulement d'un seul côté du local. L'augmentation est interrompue par la fin de l'utilisation de la pièce.

Porte ouverte, une fenêtre ouverte

Avec une seule fenêtre ouverte et la porte ouverte, la concentration de CO₂ augmente, bien qu'il s'agisse d'une ouverture des deux côtés de la pièce. L'augmentation est ici interrompue par la fin de l'utilisation de la pièce.

ANNEXE 11 : Documents et liens utiles

Autorités fédérales

- [Explication en matière d'aération et de climat intérieur](#)
- [Législation : voir le Code sur le bien-être au travail, livre III, titre I, art. 34 et suivants](#)
- [Directive pratique « Qualité de l'air intérieur dans les locaux de travail »](#)
- CSS : [Avis 9616 – Ventilation et la transmission de SARS-CoV-2 | SPF Santé publique \(belgium.be\)](#)

Région flamande/Communauté flamande

Les liens suivants offrent un aperçu des connaissances, des recommandations, du matériel de sensibilisation, des directives techniques, des protocoles et des procédures disponibles en Flandre :

- Documents de base adaptés aux besoins des différents secteurs et domaines de compétence :
 - <https://www.zorg-en-gezondheid.be/binnenmilieu>
 - [Maatregelen voor een gezond binnenmilieu tijdens corona-epidemie – Zorg en Gezondheid \(zorg-en-gezondheid.be\)](#)
 - <https://www.zorg-en-gezondheid.be/binnenmilieu-in-wzc>
 - Documents plus spécifiques :
 - [Luchtzuiveringstoestellen voor de beperking van airborne transmissie van COVID-19](#)
 - [Algemene maatregelen m.b.t. ventileren en verluchten tijdens corona](#)
 - [CO₂ als indicator voor COVID-19-risico](#)
 - [Tips voor een goede CO₂-meter](#)
 - [Ventileren, verluchten en CO₂-meting in publiek toegankelijke gebouwen](#)
 - [Standpunt CO₂-concentratie t.a.v. HGR-advies 9616](#)
- Enseignement :
 - [Coronamaatregelen: verlucht en ventileer voldoende je lokalen - Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming \(vlaanderen.be\)](#)
 - <https://www.zorg-en-gezondheid.be/binnenmilieu-op-school>
- Environnement :
 - Fiches sur les systèmes de ventilation (choix, entretien, etc.) pour les habitations/écoles (bâtiments publics) : <https://omgeving.vlaanderen.be/fiches-bouw-gezond>
 - Étude sur la ventilation dans les écoles pendant la période plus froide sans système de ventilation : <https://researchportal.be/nl/publicatie/ventilatie-op-school-koudere-periodes-tijdens-een-pandemie-zoals-covid-19>
 - [Bouw gezond - Departement Omgeving \(vlaanderen.be\)](#)

- [Étude sur la qualité de l'environnement intérieur:](#)
- Sport en Flandre :
 - [Wat zijn de maatregelen als je wil sporten? | Sport Vlaanderen](#)
 - [basisprotocol-sport.pdf](#)
- Gestion des installations techniques :
 - [Veilige werkomgeving bij coronamaatregelen: Gebouwen en installaties | Vlaanderen Intern](#)
- Jeunesse et culture (protocoles de base) :
 - [Protocoles | Département Cultuur, Jeugd & Media \(vlaanderen.be\)](#)
- Purification de l'air
 - https://www.zorg-en-gezondheid.be/sites/default/files/atoms/files/Adviesvraag%20luchtzuivering-AZG-VITO_20201204.pdf

Région wallonne

- [Agence wallonne de l’Air & du Climat](#)
- [Service public de Wallonie - performance énergétique des bâtiments](#)
- [AVIQ – Santé environnementale](#)

Communauté germanophone

- <https://beschaeftigung.belgien.be/sites/default/files/content/documents/Coronavirus/AllgemeinerLeitfaden.pdf>
- <https://beschaeftigung.belgien.be/de/themen/coronavirus/sicheres-arbeiten-waehrend-der-coronavirus-krise-allgemeiner-leitfaden>
- Bildung und Kinderbetreuung:
 - http://www.ostbelgienbildung.be/PortalData/21/Resources/downloads/coronavirus/20210324_Rundschreiben_Covid19_Bildung_und_Kinderbetreuug.pdf
- Jugend:
 - https://www.ostbelgienlive.be/PortalData/2/Resources/downloads/gesundheit/coronavirus/20210329_Rundschreiben_Jugendprotokoll.pdf
- Sport :
 - https://www.ostbelgienlive.be/PortalData/2/Resources/downloads/gesundheit/coronavirus/20210322_20210324Protokoll_Sport_DG.pdf
- Kultur:
 - https://www.ostbelgienlive.be/PortalData/2/Resources/downloads/gesundheit/coronavirus/RS_Kulturprotokoll_30112020.pdf

Documents de secteurs spécifiques

- [Schoolventilatiegids in tijden van COVID-19, Agoria](#)

Liens internationaux

- Le SCOEH (*Centre suisse de santé au travail et de l’environnement*) a mis au point un outil permettant de simuler rapidement l’exposition au virus dans différents scénarios d’intérieur.

Vous pouvez télécharger l'outil [ici](#) gratuitement. Vous trouverez plus d'informations à ce sujet sur le site du [SCOEH](#).

- [HSE \(UK\): Ventilation and air conditioning during the coronavirus pandemic](#)
- <https://ieq-ga.net/covid-19/information-center>
- <https://www.aivc.org/resources/faqs>
- <https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance/rehva-covid-19-guidance>
- https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2011/08000/2011_Compndium_of_Physical_Activities_A_Second.25.aspx
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ina.12383> (Carbon dioxide generation rates)
- <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q2000000817m2AAC> (Natural ventilation in non-domestic buildings)

ANNEXE 12 : Symboles, unités et définitions

- **N₉₀₀** : capacité nominale qui peut être maintenue en permanence si la valeur cible de la concentration en CO₂ est de 900 ppm (ou 500 ppm au-dessus de la concentration extérieure).
- **N₁₂₀₀** : capacité nominale utilisée dans le cadre du Code sur le bien-être au travail pour les situations où la valeur limite est de 1200 ppm.
- **V₉₀₀**: le débit nécessaire en air extérieur neuf pour avoir, pour un certain nombre de personnes et en-deçà d'une certaine valeur MET, une concentration en CO₂-qui se stabilise à 900 ppm .
- **V₁₂₀₀**: le débit nécessaire en air extérieur neuf pour avoir, pour un certain nombre de personnes et en-deçà d'une certaine valeur MET, une concentration en CO₂-qui se stabilise à 1200 ppm.
- **N_{eff}** : taux d'occupation effectif d'un local.
- **Q_{mec}** : débit de la ventilation mécanique avec air extérieur (m³/h).
- **A_{ouvert}** : surface nette des baies entre le local et l'environnement extérieur (m²)
 - Fenêtres à ouverture classique : longueur * largeur.
 - Fenêtres oscillo-battantes, vasistas, etc. : dimensions nettes des ouvertures.
 - Si moustiquaire : ne prendre en compte que 50 % de la surface.
 - Ouvertures avec lamelles : utiliser les données du produit.
- **CO_{2,équivalent}** : la concentration en CO₂ qui correspond en cas de purification de l'air à 900 ppm s'il n'y a pas de purification de l'air.
- **H_{ouvert}** : hauteur nette de la partie ouvrante d'une fenêtre ou d'une baie (m).
- **MET** : indicateur de l'activité métabolique (équivalent métabolique).
- **Activité calme** : activité correspondant à une valeur MET de 1,63.
- **Ventilation naturelle** : toute forme de ventilation comme l'infiltration, les grilles de ventilation, les fenêtres et portes ouvrantes qui n'utilisent pas de ventilation mécanique.
- **Mesures permanentes de la concentration en CO₂** : mesure de la concentration en CO₂ effectuée en continu dans un local.
- **Mesure aléatoire de la concentration en CO₂** : mesure de la concentration en CO₂ effectuée seulement pendant certaines périodes. Il peut s'agir de courtes périodes pour des mesures instantanées ou de mesures réalisées sur une ou plusieurs journées.
- **CADR** : *Clean Air Delivery Rate* d'un appareil de purification de l'air Le CADR indique, pour un certain polluant (généralement des particules fines), le débit d'air purifié que l'appareil insuffle. Il correspond au débit d'air extérieur (en m³/h) qui serait nécessaire pour éliminer la même quantité de polluants que le purificateur d'air.