

***PROTOCOLE DE MESURE EN CONTINU
DU DIOXYDE DE CARBONE DANS L’AIR
(INDICE DE CONFINEMENT ICONE)
DANS LES ETABLISSEMENTS D’ENSEIGNEMENT,
D’ACCUEIL DE LA PETITE ENFANCE ET
D’ACCUEIL DE LOISIRS***

Olivier RAMALHO, Maria José RUEDA LOPEZ

*Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)
Direction Santé Confort*

Mars 2023

Référence SC-QEI-2022-230

Version 1

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent document, faite sans l'autorisation du CSTB est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1er juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

L'élaboration de ce document a bénéficié du soutien financier de la Direction générale de la santé.

© 2023 CSTB

Table des matières

1. DOMAINE D'APPLICATION	4
2. MATERIEL DE MESURE	5
2.1. Caractéristiques	5
2.2. Etalonnage.....	5
2.3. Vérifications systématiques.....	5
3. STRATEGIE DE MESURE.....	6
3.1. Campagnes de mesure du CO ₂ aux étapes clés de la vie du bâtiment.....	6
3.2. Sélection des pièces	7
3.3. Mise en œuvre	9
3.4. Durée d'enregistrement.....	9
3.5. Période de mesure.....	10
4. CALCUL DE L'INDICE DE CONFINEMENT DE L'AIR	10
4.1. Démarche globale.....	10
4.2. Conditions normales de fréquentation des salles	11
4.3. Mode de calcul de l'indice	12
4.4. Représentativité des périodes d'occupation	13
5. EXPRESSION DES RESULTATS	15
6. ELEMENTS D'INCERTITUDES SUR LE CALCUL DU CONFINEMENT	15
ANNEXE 1 : SCHEMA RECAPITULATIF DE DECLENCHEMENT DES TRAVAUX IMPLIQUANT UNE CAMPAGNE AVEC MESURE DU CO₂ ET SELECTION DES PIECES	18
ANNEXE 2 : EFFECTIF THEORIQUE ET PERIODES DE PRESENCE – EXEMPLES PRATIQUES.....	19

Liste des tableaux

Tableau 1 : Effectif théorique et périodes de présence par type de salle.....	12
Tableau 2 : Valeur retenue de l'indice et correspondance indicative	13
Tableau 3 : Durées minimales de présence des mineurs par semaine pour un calcul de l'indice de confinement représentatif de l'usage de la pièce.....	14
Tableau 4 : Présentation de l'indice de confinement	15
Tableau 5 : Incertitudes sur la valeur de l'indice ICONE due à l'erreur sur la mesure.....	16
Tableau 6 : Incidence d'une erreur au niveau de la durée d'occupation sur l'indice ICONE .	16

1. DOMAINE D'APPLICATION

Ce document est destiné aux organismes accrédités (LAB REF 30) effectuant les mesures *in situ* de substances polluantes de l'air intérieur de certains établissements recevant du public, en application de l'article R. 221-31 du code de l'environnement.

Ce document définit le protocole de mesure en continu du dioxyde de carbone dans l'air intérieur des établissements visés aux 1°, 2° et 3° du II de l'article R. 221-30 du code de l'environnement : établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de six ans, accueils de loisirs (cf. 1° du II de l'article R. 227-1 du code de l'action sociale et des familles), établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du premier et second degré.

La mesure en continu du dioxyde de carbone (CO₂) permet le calcul de l'indice de confinement de l'air dit indice ICONÉ. Il a pour objectif d'évaluer le degré de confinement de l'air d'une pièce, qui mesure l'adéquation du renouvellement d'air au regard des conditions d'occupation, et permet ainsi d'apprécier les stratégies d'aération et de ventilation de la pièce.

Les modalités de mesure en continu du CO₂ sont notamment définies dans les textes réglementaires suivants :

- décret n° 2022-1690 du 27 décembre 2022 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public ;
- arrêté du 27 décembre 2022 modifiant l'arrêté du 1^{er} juin 2016 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public.

Ce document annule et remplace le document du CSTB DESE/Santé n° 2012-086R de mai 2012 intitulé « Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs ».

Ce document est disponible sur le site de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (<http://www.oqai.fr>) et sur les sites des ministères chargés de l'environnement et de la santé.

2. MATERIEL DE MESURE

La mesure de la concentration en CO₂ doit s'effectuer avec un analyseur portatif et compact fonctionnant sur le principe de l'absorption infrarouge non dispersif (NDIR).

Des éléments informatifs sur cette mesure sont également disponibles à l'annexe 3 de l'avis du Haut conseil de la santé publique du 21 janvier 2022 relatif à la mesure du dioxyde de carbone dans l'air intérieur des établissements recevant du public.

2.1. CARACTERISTIQUES

Les caractéristiques requises du matériel de mesure du CO₂ sont les suivantes :

- a) domaine de mesure minimum : 0 à 5000 ppm ;
- b) incertitude de mesure $\leq \pm (50 \text{ ppm} + 5 \% \text{ de la valeur lue})$;
- c) fréquence de mesurage : 1 point toutes les 10 min ;
- d) capacité d'enregistrement des données couvrant un minimum de 8 jours sur un pas de temps de 10 min.

Un pas de temps de 10 min est requis pour le calcul de l'indice de confinement.

L'organisme en charge de la mesure doit s'assurer que l'état de fonctionnement et le statut d'étalonnage de l'équipement sont vérifiés et jugés satisfaisants avant de le remettre en service.

2.2. ETALONNAGE

L'appareil de mesure doit présenter un certificat d'étalonnage en cours de validité. Le certificat d'étalonnage devra faire apparaître au moins un niveau de concentration étalon qui se situe entre 700 et 2000 ppm (parties par million volume/volume). L'incertitude sur la valeur du gaz étalon ne doit pas excéder 3 %. La fréquence d'étalonnage est annuelle. L'organisme en charge de la mesure réalisera annuellement un étalonnage de chaque équipement de mesures, comprenant *a minima* une vérification de la linéarité et de la répétabilité. Le programme d'étalonnage doit être géré de façon à assurer sa traçabilité et celle des mesures effectuées par l'organisme par rapport au Système International d'unités (SI).

Après stabilisation de la concentration, une valeur moyenne sur au moins 3 points est calculée. Cette valeur est comparée aux spécifications de l'étalon. L'erreur maximale tolérée (EMT) est de 5 % pour les niveaux compris entre 700 et 2000 ppm.

La vérification annuelle de la répétabilité et de la linéarité de la réponse du détecteur est réalisée sur un minimum de 3 points d'échelle (par exemple : utiliser un gaz de zéro ou un gaz étalon proche du bruit de fond atmosphérique, 90 % de la pleine échelle et environ 1500 ppm). L'écart-type de répétabilité devra être inférieure ou égale à $(50 \text{ ppm} + 5 \% \text{ de la valeur lue})$.

2.3. VERIFICATIONS SYSTEMATIQUES

2.3.1. Vérification avant utilisation

Une vérification de la réponse du détecteur doit être réalisée, au plus tôt 7 jours avant chaque campagne de mesure à l'aide d'une bouteille de gaz étalon sur un point spécifique de la gamme de mesures, soit 1500 ppm de CO₂ dans l'azote (tolérance du rapport de mélange étalon entre 1500 et 2000 ppm v/v). L'erreur maximale tolérée (EMT) pour cette vérification entre la réponse de l'appareil et le niveau du mélange étalon est de 10 %.

Si l'écart observé dépasse cette tolérance, il est nécessaire de procéder à l'opération d'ajustage du zéro avec de l'azote pur (ou de l'air synthétique) et à la mesure d'un mélange étalon de 1500 ppm de CO₂ dans l'azote ou dans l'air synthétique (une variation du niveau du rapport de mélange entre 1500 et 2000 ppm v/v est acceptée). Après ajustage, il est nécessaire de vérifier à nouveau la réponse du détecteur, de noter et de dater les valeurs obtenues. L'erreur maximale tolérée (EMT) pour l'ajustage est de 10 % sur le point d'échelle.

Par ailleurs, il est nécessaire de vérifier, et au besoin de caler, la date et l'heure de l'appareil par rapport à l'heure locale officielle. Un écart de moins de 5 minutes par rapport à l'heure locale officielle est toléré.

2.3.2. Vérification après utilisation

Une vérification de la réponse du détecteur doit être réalisée au plus tard 7 jours après chaque campagne de mesure à l'aide d'une bouteille de gaz étalon sur un point d'échelle spécifique de la gamme de mesures, soit 1500 ppm de CO₂ dans l'azote (une variation du niveau du rapport de mélange entre 1200 et 1800 ppm v/v est acceptée). L'erreur maximale tolérée (EMT de vérification) entre la réponse de l'appareil et le niveau du mélange étalon est de 10 %.

Si l'écart observé dépasse cette tolérance, il revient à l'organisme en charge de la mesure d'analyser la situation selon ses dispositions de gestion des travaux non conformes. La mesure sera invalidée si l'impact est considéré comme majeur.

Un enregistrement de la vérification avant et après utilisation est établi par l'organisme en charge de la mesure et associé à chaque campagne de mesure.

3. STRATEGIE DE MESURE

3.1. CAMPAGNES DE MESURE DU CO₂ AUX ETAPES CLES DE LA VIE DU BATIMENT

La mesure en continu du CO₂ est réglementairement requise lors des étapes clés de la vie du bâtiment suivantes :

- a) Tous les gros travaux (livraison d'un bâtiment neuf, extension d'un bâtiment existant, rénovation lourde ou énergétique) ;
- b) Des travaux impliquant le système de ventilation (changement, ajout ou suppression) dès lors que le seuil de déclenchement est dépassé ;
- c) Des travaux impliquant le changement de fenêtres, portes-fenêtres ou portes donnant sur l'extérieur dès lors que le seuil de déclenchement est dépassé.
- d) Des travaux impliquant les parois intérieures (changement, isolation, revêtement mural) dès lors que le seuil de déclenchement est dépassé et si les travaux modifient le renouvellement de l'air (modification de la position des parois, ajout / suppression de parois, obstruction ou suppression d'éléments de passages de l'air (détalonnage de porte, grilles de transfert, etc.) ;
- e) Des travaux impliquant le plafond ou le faux-plafond (changement ou reprise) dès lors que le seuil de déclenchement est dépassé et si les travaux modifient le renouvellement de l'air (modification de la hauteur sous-plafond, ajout / suppression / obstruction des bouches de soufflage, d'extraction ou des entrées d'air, modification des gaines de ventilation pour permettre la pose de faux-plafonds ou de leur hauteur, modification de la manœuvrabilité des fenêtres, etc.) ;
- f) Une modification de la disposition des pièces au travers de l'ajout, la suppression ou le déplacement des parois intérieures dès lors que le seuil de déclenchement est

dépassé et si les travaux modifient le renouvellement de l'air (changement de la position des parois modifiant le volume de la pièce de plus de 10 % ou affectant le circuit de l'air entre les entrées d'air et les bouches d'extraction et / ou de soufflage, ajout / suppression de parois, obstruction ou suppression de passages de l'air (détalonnage de porte, grilles de transfert, etc.) ;

- g) Tout changement pérenne de l'effectif d'occupation de la salle, en l'augmentant de plus de 50 % par rapport à l'effectif théorique initial ;
- h) Tout changement pérenne d'activité dans la salle susceptible d'accroître les niveaux de CO₂. Sont visés notamment les changements d'activité augmentant la production métabolique des occupants (transformation d'une salle de classe en salle de motricité ou de pratique d'activités sportives) ainsi que l'apport éventuel d'une ou plusieurs sources de combustion dans la pièce.

Lors des étapes clés a, b et c, la mesure en continu de CO₂ est associée à la mesure de tous les autres polluants réglementaires (formaldéhyde et benzène) : il s'agit alors d'une campagne complète de mesures de polluants. Pour les autres étapes, la mesure en continu de CO₂ s'inscrit dans une campagne dite partielle, c'est-à-dire ne ciblant que certains polluants.

Des informations complémentaires sur les notions « étapes clés de la vie du bâtiment », et « seuils de déclenchement des campagnes » sont disponibles dans le guide d'application de la surveillance du Cerema (Guide d'accompagnement à la mise en œuvre de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public, Cerema, 2023).

3.2. SELECTION DES PIECES

La définition des pièces éligibles et la stratégie d'échantillonnage qui leur est associée sont renseignées aux articles 2-I, 2-II, 7-IV et 7-V, , du décret n° 2022-1690 du 27 décembre 2022 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012.

Elles sont également détaillées dans le guide d'application de la réglementation de surveillance du Cerema. La stratégie d'échantillonnage détaillée ci-après pour la mesure du CO₂ lors d'une campagne est la même pour les autres polluants réglementaires (formaldéhyde et benzène).

Les pièces sélectionnées doivent être représentatives de l'ensemble de l'établissement, en particulier de l'ensemble du ou des bâtiments dans lesquels au moins une étape clé est réalisée. Les bâtiments de l'établissement qui ne sont pas concernés par l'étape clé ne sont pas pris en compte.

Dans le cas où l'établissement est intégré à une partie d'un bâtiment, seules les pièces de l'établissement sont concernées. Le reste du bâtiment n'est pas pris en compte.

Les pièces éligibles aux campagnes de mesure en continu dont le CO₂ sont les suivantes :

- 1) Les salles d'enseignement des établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du premier et du second degré ;
- 2) Les salles réservées à la pratique d'activités sportives au sein de ces établissements ;
- 3) Les salles d'activité ou de vie des établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de six ans ou des accueils de loisirs ;
- 4) Les salles de restauration des établissements visés ;
- 5) Les dortoirs des établissements visés par le présent décret.

Les espaces de circulation, les locaux techniques, les cuisines, les sanitaires, les bureaux et les logements de fonction au sein de ces établissements sont exclus et ne sont pas considérés comme des pièces éligibles.

A noter que la mesure du dioxyde de carbone n'est également pas requise dans les pièces équipées de baies ouvertes de façon permanente ou munies de châssis à lames pivotantes ne comportant pas de joints d'étanchéité. Ces pièces ne sont donc pas éligibles.

D'un point de vue opérationnel, la sélection des pièces éligibles est un processus en 3 étapes :

- 1) Définition de la zone d'intervention au sein de l'établissement ;
- 2) Définition du nombre total de pièces éligibles à instrumenter (échantillon de pièces représentatif) ;
- 3) Sélection des pièces éligibles à investiguer selon des critères de répartition.

La zone d'intervention des campagnes de mesure au sein d'un établissement est définie comme suit :

- si la ou les étapes clés concernent l'ensemble de l'établissement, la zone d'intervention concerne toutes les pièces éligibles de l'établissement ;
- si la ou les étapes clés ne concernent que certains bâtiments de l'établissement, la zone d'intervention se limite uniquement aux bâtiments de l'établissement affectés par une étape clé. Les bâtiments non affectés par une étape clé ne font pas partie de la zone d'intervention et aucune pièce des bâtiments non affectés n'est éligible ;
- si la ou les étapes clés concernent une partie d'un bâtiment de l'établissement, la zone d'intervention concerne toutes les pièces éligibles du bâtiment affecté.

Le nombre total de pièces éligibles à instrumenter (échantillon de pièces représentatif au sens réglementaire) est défini comme suit :

- si l'établissement comporte moins de 6 pièces éligibles (au sens de la réglementation), les mesures sont réalisées dans toutes les pièces ;
- si l'établissement comporte 6 pièces éligibles ou plus, l'échantillon de pièces représentatif est constitué de 50 % des pièces de l'établissement, avec un minimum de 5 pièces et un maximum recommandé de 8 pièces (une campagne de mesures réalisée dans huit pièces est réputée suffisante, mais il est possible de réaliser des mesures dans plus de 8 pièces pour compléter l'échantillonnage).

Le choix des pièces à instrumenter parmi les pièces éligibles se fait selon les critères de répartition suivants de sorte d'avoir un panel de pièces représentatives de l'établissement :

- Répartition par bâtiment, en cherchant à représenter chaque bâtiment parmi ceux affectés par une ou plusieurs étapes clés en tenant compte des critères ci-après ;
- Répartition dans les différents étages au sein de chaque bâtiment affecté par une étape clé. La répartition se fait en cherchant en priorité à représenter chaque étage de la façon suivante :
 - Sélection d'une pièce par étage lorsque le nombre de pièces éligibles est inférieur ou égal à trois à cet étage ;
 - Sélection de deux pièces par étage lorsque le nombre de pièces réglementaires est supérieur ou égal à quatre à cet étage ;

- Répartition selon la zone touchée, la zone immédiatement à proximité ou les autres zones non touchées par les travaux/changements donnant lieu à une ou plusieurs étapes clés. Au minimum un point de prélèvement dans la zone la plus touchée par les travaux/changement donnant lieu à une étape clé est réalisée (ou dans chacune des zones touchées par des travaux/changement si plusieurs bâtiments sont impliqués) ;
- Répartition par catégorie de pièces éligibles (salles d'enseignement ou d'activités selon le type d'établissement, de pratique d'activités sportives, de restauration ou dortoir). La répartition se fait en cherchant si possible à représenter chacune des catégories au moins une fois ;
- Répartition par mode constructif, par période de construction, selon la présence d'ouvrants donnant sur l'extérieur et par moyen d'aération / ventilation mécanique. La répartition des pièces se fait en cherchant à diversifier ces différents paramètres ;
- Pas de critère de répartition associé au temps d'occupation des salles. Il est néanmoins recommandé que les pièces éligibles sélectionnées soient fréquentées par les mineurs durant la campagne de mesure, et si possible sur une durée cumulée de présence représentative de l'usage de la salle (voir la section 4.4).

Si la limite de 8 pièces est atteinte, l'organisme chargé du prélèvement sera tenu de justifier le choix des pièces retenues en fonction du temps d'occupation des pièces, de la sensibilité des occupants et de la présence de sources potentielles de polluants ou d'activités susceptibles d'avoir un impact que la qualité de l'air. La densité d'occupation au sein d'une même catégorie de salle peut également être un critère de choix.

Pour ce qui concerne une campagne partielle mettant en œuvre la seule mesure du CO₂ lors d'un changement pérenne de l'effectif d'occupation (avec un effectif supérieur à 1,5 fois l'effectif théorique initial de la pièce) ou de changement pérenne d'activité susceptible d'accroître les concentrations en CO₂, les aspects liés à la sensibilité des occupants et à la présence de sources potentielles de polluants entrent peu en ligne de compte.

Les pièces sélectionnées sont les mêmes lors des deux séries de prélèvement et sont communes à tous les polluants exigés par la campagne. Les mesures sont réalisées de manière concomitante pour tous les polluants concernés par une série de mesures.

Un logigramme en annexe de ce protocole résume l'étape de déclenchement d'une campagne de mesure impliquant la mesure du CO₂ et la procédure de sélection des pièces.

3.3. MISE EN ŒUVRE

L'appareil de mesure est positionné dans la zone d'occupation de la pièce, à la hauteur des voies respiratoires des occupants. Le capteur est placé à une hauteur au-dessus du sol comprise entre 50 cm et 2 m. En pratique, il est placé à un endroit sécurisé et accessible d'une prise électrique au besoin.

L'appareil devra être éloigné des sources intenses de chaleur (émetteurs de chauffage) d'au moins 50 cm, et du rayonnement solaire direct. L'appareil ne doit pas être positionné dans le flux direct de l'air venant de l'extérieur (fenêtres), ni positionné près de la porte d'accès.

Une mesure du CO₂ à l'extérieur du bâtiment n'est pas nécessaire.

3.4. DUREE D'ENREGISTREMENT

La concentration de CO₂ est mesurée en continu avec une fréquence de mesurage d'une valeur toutes les 10 minutes (valeur moyenne sur les 10 dernières minutes). L'enregistrement est réalisé **pendant une semaine représentative** de l'usage des locaux. Cette semaine couvre les périodes de présence des enfants dans les locaux investigués : du lundi matin au

vendredi après-midi, soit 4,5 jours. L'enregistrement est réalisé en parallèle de la mesure des autres paramètres.

3.5. PERIODE DE MESURE

Dans le cadre d'une campagne complète (formaldéhyde, benzène et CO₂) ou d'une campagne partielle (formaldéhyde et CO₂), la mesure de CO₂ est réalisée **en période de chauffe et en même temps que la première ou la deuxième série de prélèvements** de formaldéhyde et/ou benzène. Aussi, il convient de programmer au moins une des deux séries lors d'une période de chauffe de l'établissement.

Lorsque la mesure du CO₂ est effectuée seule (campagne partielle ciblant le seul dioxyde de carbone), la mesure du CO₂ peut **exceptionnellement être effectuée hors de la période de chauffage si celle-ci n'est pas commencée dans le mois suivant** la fin de réalisation d'une étape clé de la vie du bâtiment.

Dans tous les cas, la mesure de CO₂ peut s'effectuer à n'importe quelle période de l'année dans les départements, territoires et collectivités d'outre-mer, dont la zone climatique dispense l'établissement de l'usage de système de chauffage.

4. CALCUL DE L'INDICE DE CONFINEMENT DE L'AIR

Le calcul de l'indice de confinement de l'air dans une pièce nécessite de disposer de :

- l'enregistrement sur une semaine des valeurs de concentration en CO₂ à l'intérieur de la salle,
- la plage de présence des enfants dans cette salle, en condition normale de fréquentation (voir définition au chapitre 5.2), durant la semaine de mesure.

Les plages de présence des enfants dans chaque pièce sont **renseignées a priori et vérifiées a posteriori** avec l'aide de l'adulte enseignant ou encadrant sur l'ensemble de la semaine.

4.1. DEMARCHE GLOBALE

La procédure de calcul de l'indice de confinement comporte 5 étapes :

- 1) Vérifier que l'horodatage de l'enregistrement est conforme à la période investiguée et ne comporte pas de dates ou heures aberrantes ou d'éventuelles interruptions de fonctionnement. Corriger les données aberrantes et noter les périodes d'interruptions.
- 2) Vérifier que les valeurs de concentration en CO₂ ne comportent pas de valeurs aberrantes. Une valeur est jugée aberrante si elle n'est pas comprise entre 350 ppm et la valeur maximale mesurable par l'instrument. De même, tout décrochage suspect du signal qui revient ensuite subitement à son niveau précédent peut être interprété comme une valeur aberrante. Noter leur nombre puis écarter les données aberrantes du calcul de l'indice de confinement.
- 3) Sélectionner les périodes de présence à retenir correspondant aux conditions normales de fréquentation de la salle en tenant compte de l'effectif théorique. Les conditions normales de fréquentation des salles par les enfants sont définies ci-après. Celles-ci se distinguent selon qu'il s'agit de locaux à usage d'enseignement du premier degré, du second degré, de locaux à usage d'accueil de la petite enfance, d'accueil de loisirs, de pièces de sommeil (dortoir), de pratique d'activités sportives, de restauration ou d'autres locaux associés à des usages spécifiques (musique, bibliothèque, informatique, etc.).

- 4) Calculer l'indice de confinement sur l'ensemble des périodes de présence retenues pendant la semaine d'enregistrement.
- 5) Déterminer le cumul d'heures de présence retenues sur la semaine et vérifier qu'il est supérieur ou égal au minimum établi pour garantir la représentativité de la mesure (voir la section 4.4 pour le minimum d'heures requis selon le type d'établissement et les conséquences en cas de non atteinte de ce minimum).

4.2. CONDITIONS NORMALES DE FREQUENTATION DES SALLES

La détermination des conditions normales de fréquentation des salles se fait sur la base de l'emploi du temps associé à la salle et à la semaine de mesure. A partir de cet emploi du temps, des périodes de présence sont définies au regard de la variation du nombre de mineurs dans la salle. Une période correspond à un effectif à peu près constant du nombre d'enfants ou mineurs dans la salle. Pour chaque période ainsi définie, le nombre de mineurs présents dans la salle est comparé à l'effectif théorique de la salle. Si le nombre de mineurs est compris entre 0,5 à 1,5 fois l'effectif théorique, la période de présence est retenue pour le calcul de l'indice de confinement ICONE. La Figure 1 illustre ce principe de détermination.

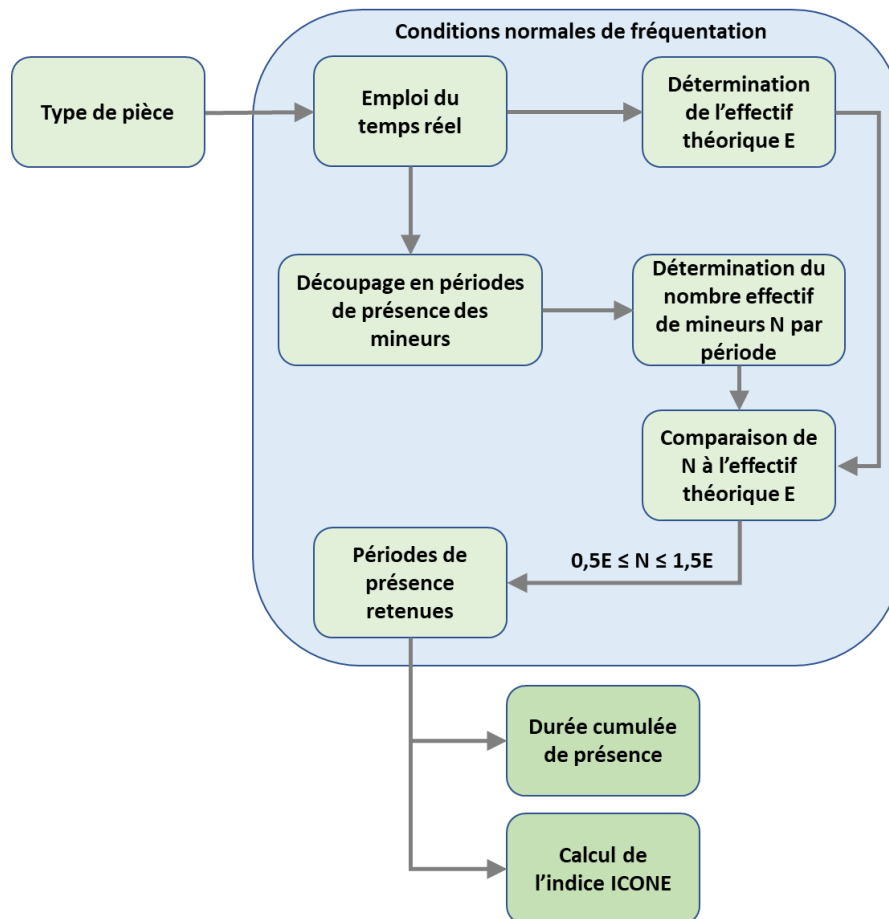


Figure 1 : Schéma de principe de détermination des périodes de présence retenues correspondant aux conditions normales de fréquentation d'une salle selon son type.

La définition de l'effectif théorique, de l'emploi du temps et du découpage des périodes peut varier selon le type de salles instrumentées en fonction de son usage. Le tableau suivant indique pour chaque type ou usage des salles la manière de définir l'effectif théorique d'une salle et les périodes de présence sur la semaine.

Tableau 1 : Effectif théorique et périodes de présence par type de salle

Type de salle	Effectif théorique	Périodes de présence
Salle d'enseignement du premier degré	Nombre d'enfants inscrits dans la classe.	Emploi du temps de la classe dans la salle, en excluant les périodes d'inoccupation (récréations, pause méridienne, etc.)
Salle d'enseignement du second degré	Nombre maximum d'élèves inscrits parmi l'ensemble des classes qui utilisent la salle.	Schéma d'occupation de la salle selon tous les emplois du temps des classes.
Salle d'activité ou de vie (halte-garderie ou accueil de loisirs)	Pas d'effectif théorique (effectif trop variable).	Horaires d'ouvertures en excluant les périodes d'absence d'enfants dans la salle. Période prise en compte à partir d'un enfant présent sans comparaison à un effectif théorique.
Salle d'activité ou de vie (crèches)	Capacité d'accueil de la salle en nombre d'enfants	Horaires d'ouvertures en excluant les périodes d'absence d'enfants dans la salle. Périodes définies par créneaux de variation du nombre d'enfants présents dans la salle.
Salle réservée à la pratique d'activités sportives	Nombre maximum de mineurs utilisant la salle sur un créneau donné (1 à 2 heures) durant la semaine.	Schéma d'occupation de la salle selon tous les emplois du temps des classes.
Salle de restauration (réfectoire)	Nombre maximum de couverts servis sur une journée durant la semaine en ne considérant que les mineurs.	Horaires d'accès des mineurs à la salle pour déjeuner.
Pièce de sommeil (dortoir en crèches/salles de repos des maternelles)	Nombre maximum de mineurs utilisant le dortoir sur un créneau donné durant la semaine.	Schéma d'occupation du dortoir
Pièce de sommeil (dortoir en internat)	Nombre maximum de mineurs utilisant la chambre/dortoir sur un créneau donné durant la semaine.	Période de présence dans la chambre/dortoir en soirée et nuit du lundi matin au vendredi soir

Les schémas d'occupation fournis doivent être validés avec le personnel encadrant.

Des exemples sont disponibles en annexe du document pour chaque type de salles pour se familiariser avec la détermination de l'effectif théorique et des périodes de présence.

4.3. MODE DE CALCUL DE L'INDICE

Pour le calcul de l'indice, seules les valeurs de concentrations de dioxyde de carbone mesurées pendant les périodes correspondant aux conditions normales de fréquentation définies au paragraphe 5.2 sont prises en compte.

Les valeurs de dioxyde de carbone correspondant aux périodes retenues sont ensuite partitionnées en trois classes selon leur niveau :

- nombre de valeurs inférieures ou égales à 800 ppm (n_0)

- nombre de valeurs comprises entre 800 et 1500 ppm inclus (n_1)
- nombre de valeurs supérieures à 1500 ppm (n_2)

Chaque valeur correspond à une moyenne sur les 10 dernières minutes.

L'indice de confinement ICONNE est alors calculé suivant la formule :

$$ICONE = \left(\frac{2,5}{\log_{10}(2)} \right) \log_{10}(1 + f_1 + 3f_2)$$

$$f_1 : \text{proportion de valeurs comprises entre 800 et 1500 ppm} \left(f_1 = \frac{n_1}{n_0 + n_1 + n_2} \right)$$

$$f_2 : \text{proportion de valeurs supérieures à 1500 ppm} \left(f_2 = \frac{n_2}{n_0 + n_1 + n_2} \right)$$

L'indice de confinement est calculé pour chaque salle instrumentée et exprimé avec un arrondi à 0 chiffre après la virgule, selon la règle indiquée dans le tableau suivant. Une correspondance indicative en termes de dépassement des seuils de 800 et 1500 ppm est également fournie pour aider à l'interprétation de la note finale de l'indice.

Tableau 2 : Valeur retenue de l'indice et correspondance indicative

Valeur brute de l'indice de confinement	Valeur retenue de l'indice de confinement	Correspondance indicative de dépassement des seuils associée à la période
ICONE < 0,5	0	> 85 % des valeurs mesurées en dessous de 800 ppm
0,5 ≤ ICONE < 1,5	1	15 % à 50 % des valeurs mesurées comprises entre 800 et 1500 ppm
1,5 ≤ ICONE < 2,5	2	50 % à 99 % des valeurs mesurées comprises entre 800 et 1500 ppm
2,5 ≤ ICONE < 3,5	3	1 % à 30 % des valeurs mesurées supérieures à 1500 ppm
3,5 ≤ ICONE < 4,5	4	30% à 75 % des valeurs mesurées supérieures à 1500 ppm
ICONE ≥ 4,5	5	> 75 % des valeurs mesurées supérieures à 1500 ppm

L'expression de l'indice de confinement arrondi au nombre entier le plus proche se justifie au regard des incertitudes de calcul dont les éléments sont annexés au présent protocole.

4.4. REPRESENTATIVITE DES PERIODES D'OCCUPATION

Une période minimale d'occupation doit être respectée, dans la mesure du possible, pour s'assurer que la valeur calculée de l'indice de confinement soit pertinente au regard des conditions normales d'occupation des locaux. Cette période minimale est différente selon

l'usage des salles. Dans l'idéal, cette période minimale d'occupation est vérifiée en amont au moment de la sélection des pièces à instrumenter parmi les pièces éligibles (voir la section 4.1).

Il est souhaitable que le nombre d'heures de présence retenu pour le calcul de l'indice de confinement soit supérieur ou égal aux valeurs suivantes afin d'assurer une représentativité de la note calculée :

Tableau 3 : Durées minimales de présence des mineurs par semaine pour un calcul de l'indice de confinement représentatif de l'usage de la pièce

Salles à usage d'enseignement général du premier degré	12 heures cumulées de présence par semaine
Salles à usage d'enseignement général du second degré	8 heures cumulées de présence par semaine
Salles d'activités à usage d'accueil de la petite enfance (crèches)	10 heures cumulées de présence par semaine
Salles à usage d'accueil de loisirs	4 heures cumulées par semaine
Salles à usage exclusif de dortoir (crèche)	4 heures cumulées par semaine
Salles à usage exclusif de dortoir en maternelle	2 heures cumulées par semaine
Salles à usage exclusif de chambre/dortoir en internat	15 heures cumulées par semaine
Salle de pratique d'activités sportives	4 heures cumulées par semaine
Salle de restauration	4 heures cumulées par semaine
Autres salles (salle de musique, informatique, bibliothèque, etc.)	4 heures cumulées par semaine

Le nombre d'heures de présence retenu pour le calcul de l'indice de confinement doit être systématiquement reporté sur le rapport pour chacune des salles expérimentées.

Si ce nombre est supérieur ou égal au minimum indiqué ci-dessus, les conditions de fréquentation de la salle sont jugées normales. L'indice de confinement obtenu est représentatif de l'usage de la salle.

Si ce nombre est inférieur au minimum indiqué ci-dessus, les conditions de fréquentation de la salle peuvent ne pas être représentatives d'un usage normal de la salle et conduisent à une incertitude plus importante sur le calcul de l'indice de confinement. Il est nécessaire d'analyser les raisons de cette situation et :

- soit de reconduire la mesure en continu du dioxyde de carbone pour l'évaluation du confinement de l'air si la situation est anormale, sans avoir à mesurer les autres paramètres ;
- soit d'indiquer dans le rapport d'essai, la représentativité moindre de ces mesures.

5. EXPRESSION DES RESULTATS

Le rapport de mesures mentionnera pour chacune des salles instrumentées la valeur de l'indice de confinement ainsi que le cumul d'heures de présence des enfants considéré pour le calcul. Le planning d'occupation utilisé pour le calcul doit être également documenté pour chaque salle.

Enfin, l'indice de confinement est présenté comme suit :

Tableau 4 : Présentation de l'indice de confinement

INDICE DE CONFINEMENT	NATURE DU CONFINEMENT DE L'AIR
0	Confinement nul
1	Confinement faible
2	Confinement moyen
3	Confinement élevé
4	Confinement très élevé
5	Confinement extrême

En application du 3° du III de l'article R. 221-30 du code de l'environnement, une valeur de l'indice de confinement supérieure ou égale à 5 implique que des investigations complémentaires soient menées et que le préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement soit informé.

L'interprétation des résultats de l'indice ICONE et les actions envisagées sont réalisées sans préjudice du respect des dispositions en vigueur relatives à l'aération et la ventilation définies dans le règlement sanitaire départemental et dans les articles R. 4222-4 et suivants du code du travail (exemple : débits minimaux d'air neuf par heure et par occupant).

Des recommandations sur l'interprétation des résultats de l'indice ICONE et les actions à mettre en œuvre sont indiquées dans le guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air (document rédigé par le CSTB et disponible sur le site de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur¹ et sur les sites des ministères chargés de l'environnement et de la santé).

6. ELEMENTS D'INCERTITUDES SUR LE CALCUL DU CONFINEMENT

L'incertitude sur le calcul du confinement dépend de l'incertitude sur la mesure de la concentration en CO₂ (\pm [50 ppm + 5% de la valeur lue]) et de l'incertitude sur la détermination de la plage d'occupation des pièces. On suppose ici que l'occupation est correctement renseignée. L'incertitude sur l'indice ICONE a été déterminée en propageant l'incertitude sur

¹ A partir du 2nd semestre 2023

la mesure dans plus d'une centaine de suivis hebdomadaires associés à une note initiale de l'indice ICONNE variable de 0 à 5 et en calculant l'incidence sur la note finale.

A l'examen des résultats on obtient en moyenne l'incertitude suivante :

Tableau 5 : Incertitudes sur la valeur de l'indice ICONNE due à l'erreur sur la mesure

Valeur initiale de l'indice	Incertitude moyenne absolue due à l'erreur sur la mesure
0	±0,1
1	±0,3
2	±0,3
3	±0,4
4	±0,2
5	±0,1

Par ailleurs, la présence doit être correctement renseignée pour éviter toute erreur sur l'évaluation de la note. A titre d'exemple, un calcul de sensibilité basé sur l'hypothèse d'un oubli de prise en compte de l'occupation ou de l'inoccupation pendant une demi-journée par rapport à la semaine d'expérimentation (6 heures de présence pendant 4 jours effectifs) a été réalisé. Cette non prise en compte intervient à la fois sur la durée totale d'occupation et sur le nombre de valeurs de CO₂ dépassant 800 ou 1500 ppm, affectant ainsi les proportions f₁ et f₂.

Les hypothèses retenues sont majorantes et conduisent à des écarts sur la note de l'indice pouvant aller de -0,4 à +1,0 point. Les situations les plus réalistes conduisent plutôt à des écarts de ± 0,4. Car en effet, il est peu probable d'omettre une demi-journée d'occupation durant laquelle le niveau de CO₂ dépasse systématiquement 1500 ppm, alors que le reste de la semaine, les niveaux restent inférieurs à 800 ppm.

Tableau 6 : Incidence d'une erreur au niveau de la durée d'occupation sur l'indice ICONNE

Note de l'indice	Ecart absolu de la note de l'indice due à la durée d'occupation			
	-1/2 journée CO ₂ < 800	+1/2 journée CO ₂ < 800	+1/2 journée CO ₂ > 800	+1/2 journée CO ₂ > 1500*
0	+0,1	-0,1	+0,3	+1,0
1	+0,1	-0,1	+0,2	+0,8
2	+0,2	-0,2	+0,1	+0,6
3	+0,3	-0,3	-0,1	+0,3
4	+0,3	-0,3	-0,2	+0,2
5	+0,4	-0,4	-0,2	+0,0

*hypothèse peu réaliste

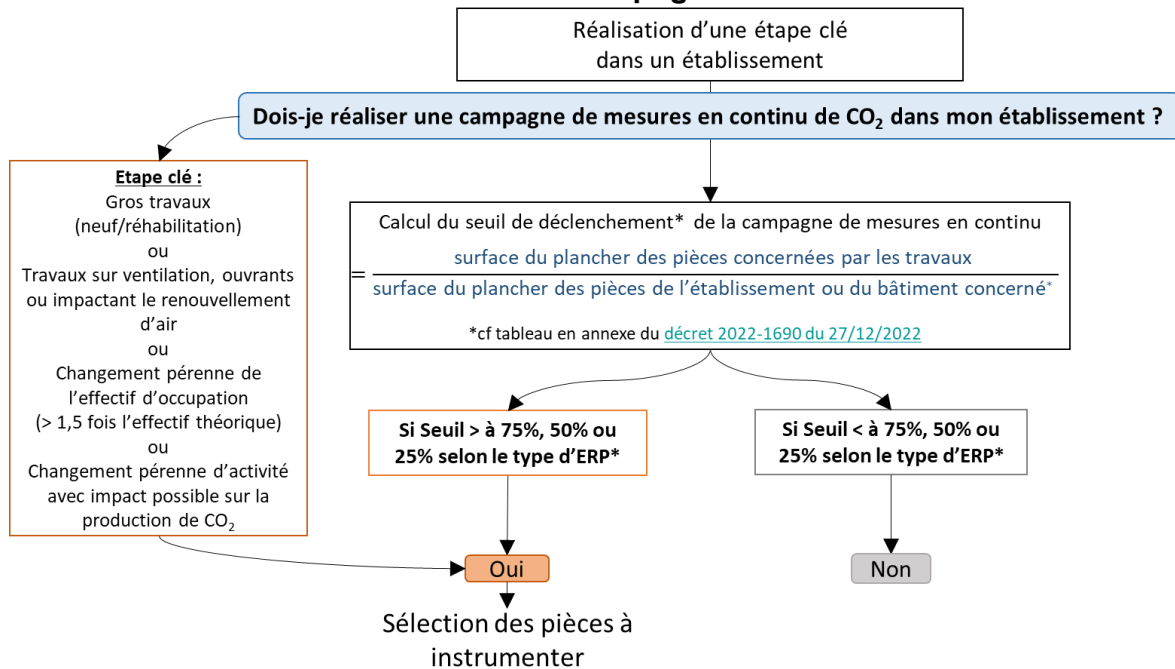
Compte tenu de ces éléments, il est possible d'estimer une incertitude globale sur le calcul de la note de confinement comprise entre 0,1 et 0,5. L'incertitude la plus élevée se situe autour de la note 3 de l'indice.

C'est pourquoi au vu des résultats, il est convenu d'exprimer les notes de l'indice de confinement – déterminées à partir de mesures du CO₂ – avec une précision égale à 1, c'est-à-dire arrondies au nombre entier le plus proche.

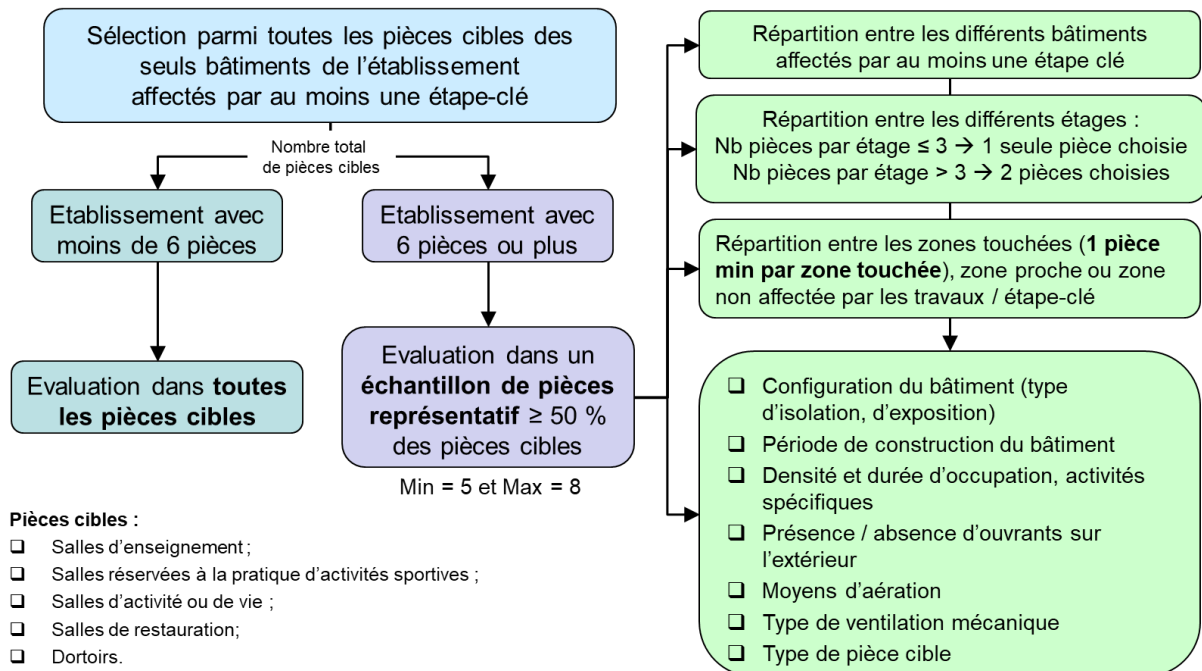
FIN DU PROTOCOLE

ANNEXE 1 : SCHEMA RECAPITULATIF DE DECLENCHEMENT DES TRAVAUX IMPLIQUANT UNE CAMPAGNE AVEC MESURE DU CO₂ ET SELECTION DES PIECES

□ Seuil de déclenchement d'une campagne de mesure



□ Choix des pièces à mesurer (communes à la mesure de tous les polluants)



Pièces cibles :

- Salles d'enseignement ;
- Salles réservées à la pratique d'activités sportives ;
- Salles d'activité ou de vie ;
- Salles de restauration ;
- Dortoirs.

ANNEXE 2 : EFFECTIF THEORIQUE ET PERIODES DE PRESENCE – EXEMPLES PRATIQUES

Locaux à usage d'enseignement du premier degré

Exemple 1 : pour une salle de classe de 25 élèves (effectif théorique), les phases à considérer dans le calcul sont celles où le nombre d'enfants présents est compris entre 13 et 37. Ainsi, une période périscolaire (garderie du matin ou du soir, soutien scolaire) comprenant 12 enfants ou moins n'est pas prise en compte.

Exemple 2 : une classe de 25 élèves peut être séparée en deux demi-groupes pour les besoins d'une activité (musique, informatique, etc.) durant une période définie. La salle est alors occupée par un nombre restreint d'élèves. Si ce nombre représente moins de la moitié de l'effectif théorique (ici 12 élèves ou moins), la période correspondante n'est pas prise en compte pour le calcul.

Exemple 3 : une salle de classe qui fait office de bibliothèque regroupe des élèves de plusieurs classes une après-midi par semaine. Cette salle accueille le reste de la semaine 25 élèves (correspondant à l'effectif théorique). La période correspondant à l'activité bibliothèque ne sera considérée que si l'effectif reste inférieur à 38 élèves.

Exemple 4 : une salle de classe de 25 élèves accueille exceptionnellement d'autres élèves du fait de l'absence d'un enseignant. La période correspondant à ce regroupement ne sera considérée que si l'effectif reste inférieur à 38 élèves.

Locaux à usage d'enseignement du second degré

Exemple 1 : Huit classes fréquentent la salle avec un effectif d'élèves inscrits suivant : 28, 23, 25, 24, 26, 27, 28, 24. On retient comme effectif théorique de la salle le nombre de 28. Pour cette salle, les périodes d'occupation à prendre en compte sont celles où le nombre d'élèves est compris entre 14 et 42.

Exemple 2 : Six classes fréquentent la salle avec un effectif d'élèves inscrits suivant : 10, 24, 25, 27, 28, 32. On retient comme effectif théorique de la salle le nombre de 32. Pour cette salle, les périodes d'occupation à prendre en compte sont celles où le nombre d'élèves est compris entre 16 et 48. Ainsi, les périodes occupées par la classe de 10 élèves ne sont pas considérées dans le calcul de l'indice.

Exemple 3 : Trois classes fréquentent la salle avec un effectif d'élèves inscrits suivant : 10, 11, 13. On retient comme effectif théorique de la salle le nombre de 13. Pour cette salle, les périodes d'occupation à prendre en compte sont celles où le nombre d'élèves est compris entre 7 et 19.

Locaux à usage d'accueil de la petite enfance de moins de 6 ans (crèches) – pièces de vie

Exemple : une salle de crèche avec une capacité d'accueil de 20 enfants accueille des enfants du lundi au vendredi de 07h30 à 19h00, selon le schéma d'occupation fourni par le personnel encadrant. Dans ces conditions, le calcul de l'indice de confinement est conduit sur l'ensemble des périodes de présence avec 10 enfants ou plus. Le nombre maximum d'enfants sur un créneau est de 20, ce qui correspond à l'effectif théorique. Les périodes avec 10 à 20 enfants présents sont retenues pour le calcul de l'indice de confinement. La durée cumulée de présence retenue est de 29 heures sur la semaine.

Locaux à usage d'accueil de la petite enfance de moins de 6 ans ou à usage d'accueil de loisirs

Exemple : une salle à usage d'accueil de loisirs accueille des enfants du lundi au vendredi de 07h30 à 19h00 en période périscolaire avec un schéma d'occupation fourni par le personnel encadrant. Dans ces conditions, le calcul de l'indice de confinement est conduit sur l'ensemble des périodes de présence indépendamment de l'effectif : la durée cumulée de présence est retenue.

Locaux à usage exclusif de pièce de sommeil (dortoirs en crèche ou maternelle)

Exemple 1 : une salle de repos en crèche avec une capacité d'accueil de 15 enfants accueille des enfants du lundi au vendredi de 06h00 à 19h00 et le samedi de 08h00 à 12h00, selon le schéma d'occupation de la salle fourni par le personnel encadrant. Dans ces conditions, le calcul de l'indice de confinement est conduit sur l'ensemble des périodes de présence avec un effectif minimum de 0,5 fois l'effectif théorique, soit > 7 enfants. La durée cumulée de présence retenue pour le calcul de l'indice est de 15 heures.

Exemple 2 : une salle de repos en maternelle accueille 12 enfants de petite section (effectif théorique) du lundi au vendredi de 14h30 à 15h30, sauf le mercredi. Dans ces conditions, le calcul de l'indice de confinement est conduit sur l'ensemble des périodes de présence soit 4 heures cumulées sur la semaine.

Locaux à usage exclusif de pièce de sommeil (dortoirs en internat)

Exemple 1 : un internat possède un dortoir collectif de 20 couchages occupés par 15 élèves internes de 20h45 à 06h45 tous les jours du lundi matin au vendredi soir. Les 4 nuits sont à considérer comme des périodes de présence avec une durée cumulée de 40 heures sur la semaine.

Exemple 2 : une chambre collective occupée par 3 élèves internes a été sélectionnée dans un internat. Les 4 nuits d'occupation sur la semaine sont à considérer comme des périodes de présence si au moins un des 3 élèves utilise la chambre.

Locaux à usage de pratique sportive

Exemple : Dans le secondaire, quatre classes organisées en demi-groupes fréquentent la salle de sport sur 6 créneaux différents durant la semaine, incluant également deux petits groupes d'élèves ayant choisi une option sport spécifique. L'effectif des élèves sur les 6 créneaux est le suivant : 15, 17, 28, 31, 32 et 34. On retient comme effectif théorique de la salle le nombre de 34 élèves. Pour cette salle de sport, les périodes d'occupation à prendre en compte pour la durée cumulée de présence sont celles où le nombre d'élèves est compris entre 17 et 34.

Locaux à usage de restauration

Exemple : Dans un établissement secondaire, un réfectoire accueille l'équivalent de 10 classes chaque jour durant la pause déjeuner. Cela correspond à un nombre de 160 inscrits qui arrivent successivement pour des horaires de service définis. Le nombre maximum de couverts servis sur une journée était de 157 le jeudi. Par contre, le mercredi, les élèves inscrits à la cantine sont moins nombreux, seulement 77. Ce chiffre est inférieur à 0,5 fois l'effectif théorique, ce qui fait que la période de présence du mercredi n'est pas prise en compte. La durée cumulée de présence considérée n'est alors que de 8 heures.

FIN DES ANNEXES