

Mesure d'indicateurs de qualité de l'air intérieur

Dans des locaux d'enseignement de l'université Grenoble Alpes

I/ Contexte de la qualité de l'air

■ Objet de la présente note

Cette note présente les résultats de mesures effectuées par l'ALEC dans les locaux de l'UGA, dans le cadre de son partenariat. L'objectif est d'apporter, via l'instrumentation de quelques locaux représentatifs, des éléments d'appréciation de la qualité d'air selon différents marqueurs : formaldéhyde, CO₂ et COV légers.

L'instrumentation ne se prévaut pas d'une campagne de mesure réglementaire. Les valeurs sont indicatives et représentatives d'une période donnée dans la vie du bâtiment. Les mesures ont été effectuées du vendredi 23/02/2018 au vendredi 02/03/2018 dans les locaux suivants : salle de TD B107 et l'amphi 4 du bâtiment Stendhal, et dans la salle de TD Langues B102 du bâtiment Droit.

Contact UGA : Véronique Gonzalez

■ CO₂, COV & Formaldéhydes : de quoi parle-t-on ?

Le dioxyde de carbone ou CO₂ est émis par les occupants, un taux élevé reflète le confinement d'un bâtiment. Il est sans conséquence sanitaire mais impacte les apprentissages (baisse de la concentration). La concentration naturelle de CO₂ dans l'air est d'environ 400 ppm. L'indice ICONE calculé pour les locaux considère que le confinement est nul pour une teneur en CO₂ inférieure à 1000 ppm et qu'il devient important à partir de 1700 ppm.

Les composés organiques volatiles ou COV sont très nombreux et de sources très diverses. Du fait de leur hétérogénéité, il n'existe pas de valeur guide. Les effets de COV sont très variables selon la nature du polluant envisagé. Ils vont d'une certaine gêne olfactive à des effets mutagènes et cancérogènes (benzène, certains HAP), en passant par des irritations diverses et une diminution de la capacité respiratoire.

Le formaldéhyde (COV très léger) est l'un des principaux polluants en air intérieur car il a été massivement utilisé dans les matériaux d'aménagement, de finition et d'ameublement ; il est également présent dans les fumées (bougies, cigarette, ...) ainsi que dans les liants et colles. Classé « cancérogène certain » par le CIRC en 2005, les valeurs guides en France recommandent de rester en deçà de 30 µg/m³. Ce seuil sera abaissé à 10 µg/m³ en 2023 (niveau très ambitieux).

■ Rappel réglementaire

Le législateur a prévu la mise en place d'une surveillance de la qualité de l'air dans les établissements publics, en particulier pour les bâtiments accueillant des jeunes :

Le calendrier d'application est le suivant (campagnes terminées pour le) :

- Au 1^{er} janvier 2018 dans les crèches, halte-garderies, écoles maternelles et élémentaires ;
- Au 1^{er} janvier 2020 dans les accueils de loisir et établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du second degré (collège, lycée, etc.) ;
- Au 1^{er} janvier 2023 dans les autres ERP visés (gymnases, piscines couvertes, établissements médico-sociaux, ...).

Elle ne concerne donc pas dans l'immédiat les bâtiments universitaires d'enseignement, mais sera à intégrer d'ici 2023 pour les bâtiments sportifs.

Elle est présentée en annexe pour en permettre l'appropriation, et faciliter l'analyse des résultats de cette campagne au regard des valeurs guides indiquées dans la réglementation.

Elle intègre des campagnes descriptives sur les moyens d'aération ou les sources de polluants, et/ou des campagnes de mesures.


II/ Campagne de mesure de l'UGA

■ Protocole de mesure

Il a été choisi de réaliser des mesures dans les deux typologies de locaux d'enseignement les plus courantes : une salle de TD et un amphithéâtre. L'objectif est d'une part de vérifier le niveau de confinement dans des locaux peu ou bien ventilé, et d'autre part d'évaluer la concentration en polluants dans des locaux rénovés récemment, ayant donc des sources d'émissions plus importantes (peinture, solvant, colles...)

Salle de TD B107 (pas de travaux de rénovation récent, ventilation par défaut d'étanchéité) : un enregistreur de CO₂. Cet appareil permet de mesurer et enregistrer le CO₂, la température et l'humidité relative, mais pas les formaldéhydes et les COV. Le CO₂ ne donne pas une image complète des polluants mais c'est cependant un bon indicateur de confinement d'une pièce.

Salle de langues B102 et amphi 4 (travaux de rénovation récents <1an, ventilation mécanique) : 1 enregistreur NEMo (Ethera) mesurant plusieurs polluants : le CO₂, les formaldéhydes et les COV (Composés Organiques Volatiles Légers). Cet appareil ne permet pas de mesurer tous les polluants présents dans un bâtiment. Néanmoins ceux mesurés peuvent être considérés comme de bons indicateurs de la qualité de l'air ambiant.

Locaux neufs ou rénovés - Boîtier NEMO							
Bâtiment DROIT Aile B - salle TD Langues - B102 - Capacité 32				3	Bâtiment Stendhal - Amphi 4 - Capacité 230		
Vendredi 23/02	lundi 26/02	mardi 27/02	mercredi 28/02		mercredi 28/02	jeudi 01/03	vendredi 02/03
			7h30 - 8h30		7h30 - 8h30		8h00 - 10h00
	8h00 - 9h30	8h00 - 10h00			8h30 - 10h30	8h30 - 10h30	
	9h30 - 11h00	10h00 - 12h00			10h30 - 12h30		
	11h00 - 12h30						
1	14h00	13h00 - 15h00	13h00 - 14h30		13h30 - 15h30	13h30 - 15h30	5 14h00
		14h30 - 16h00	16h00 - 18h00		15h30 - 17h30		15h00 - 17h00
		16h00 - 17h30	18h00 - 20h00				
	17h00 - 19h00	17h30 - 19h00					

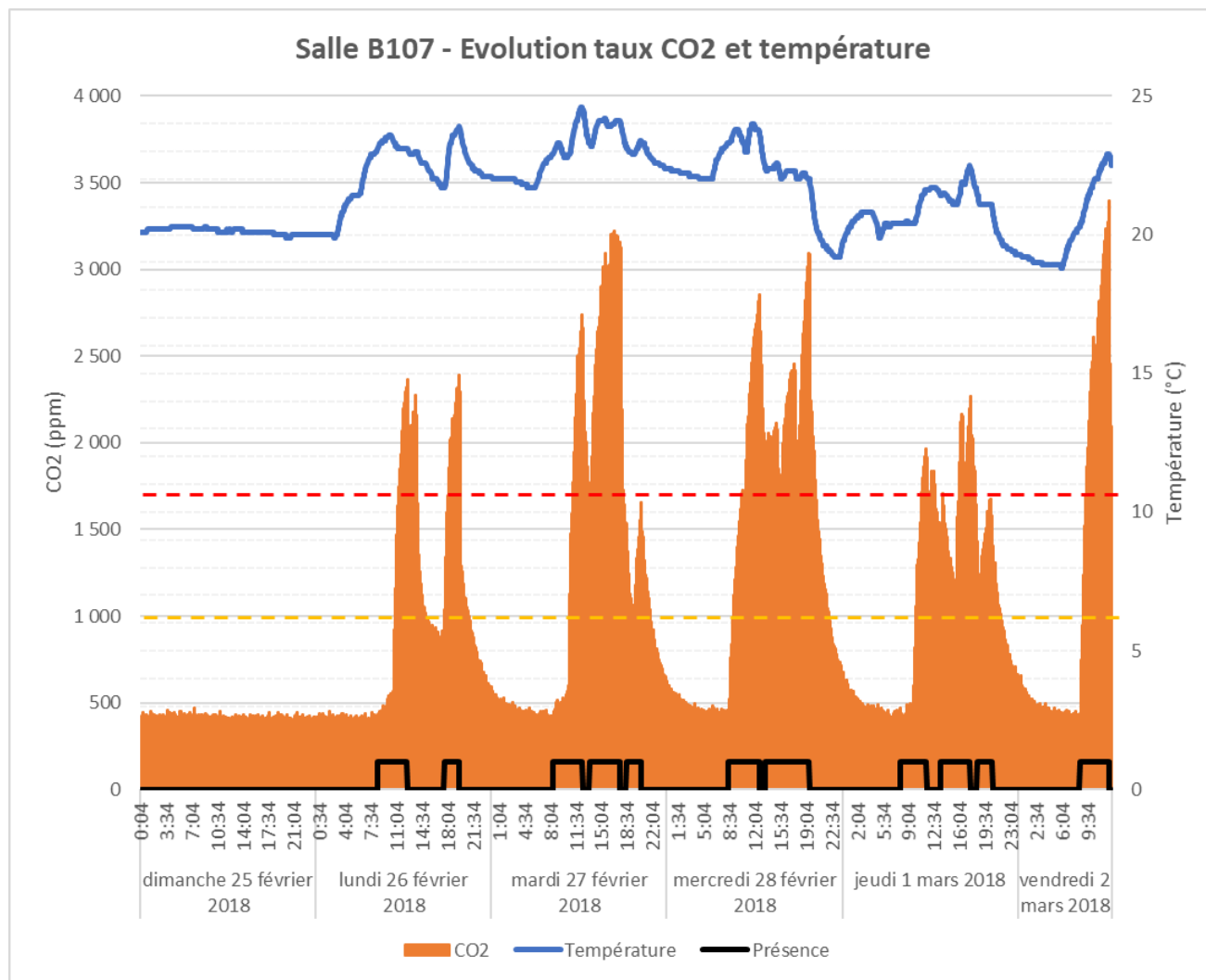
Locaux non rénovés - Salle B107 - Boîtier Mesure du CO²

Bâtiment Stendhal - Salle de TD - B107 - Capacité 25					
Vendredi 23/02	lundi 26/02	mardi 27/02	mercredi 28/02	jeudi 01/03	vendredi 02/03
				8h00 - 9h30	
	8h30 - 10h30	8h30 - 10h30	8h30 - 10h30	9h30 - 11h00	8h30 - 10h30
	10h30 - 12h30	10h30 - 12h30	10h30 - 12h30	11h00 - 12h30	10h30 - 12h30
		13h30 - 15h30	13h30 - 15h30	13h30 - 15h30	4 13h00
2	14h00	15h30 - 17h30	15h30 - 17h30	15h30 - 17h30	13h30 - 16h30
	17h30 - 19h30	17h30 - 19h30			
		18h30 - 20h30		18h30 - 20h30	



■ Analyse des résultats de la salle de TD B107 (salle non rénovée)

Dans la salle B107, l'enregistrement a duré du vendredi au vendredi, avec mesure de CO₂ et d'indicateurs de confort (température et hygrométrie).



CO ₂ – Salle TD B107	Valeur recommandée (ppm)	Mesure (ppm)
Valeur moyenne en occupation	Entre 400 et 1500	1760
Valeur maximale	-	3395
Indice de confinement (ICONE)	Entre 0 et 2	4

→ Analyses

- On constate très logiquement une corrélation entre les temps de présence et la concentration en CO₂, celle-ci étant directement liée à la présence humaine. La concentration naturelle de CO₂ dans l'air étant de 400 ppm, le talon du graphique est de 400 ppm.

- Les niveaux de température sont relativement importants (entre 20°C le WE en inoccupation et 24,5°C le mardi à 12h20), malgré des températures extérieures rigoureuses sur cette semaine (allant de -7°C à +7°C au max).

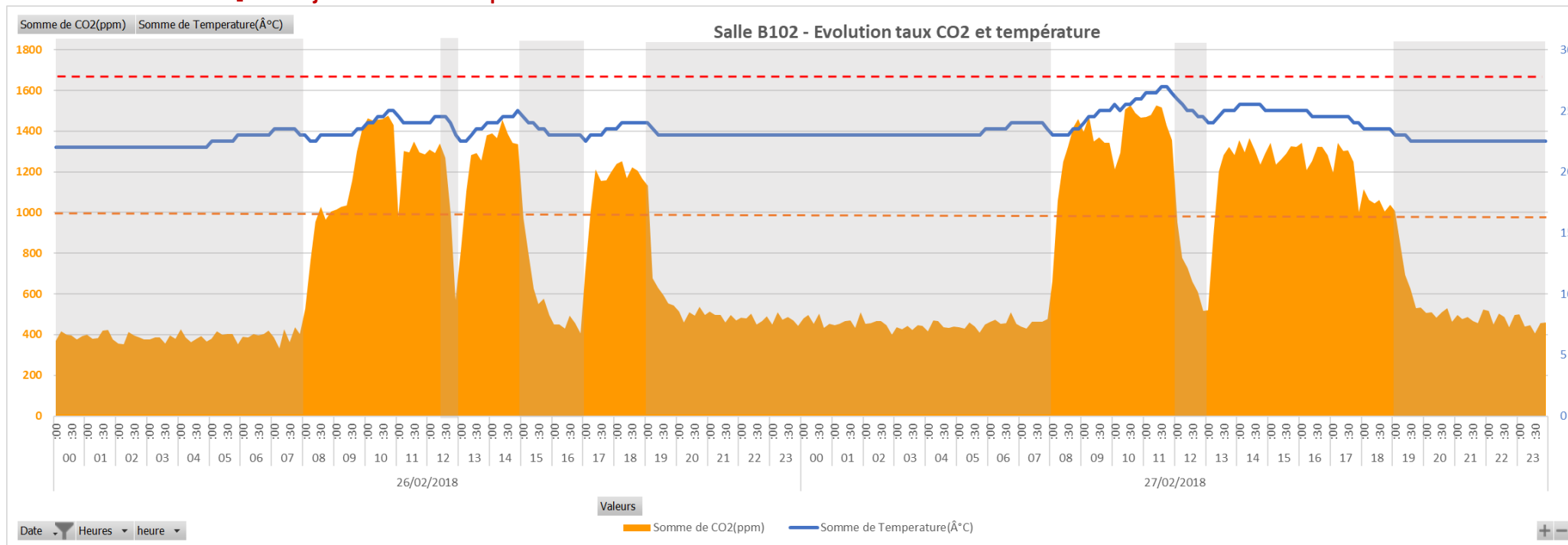
- La concentration en CO₂ dépasse systématiquement les seuils des 1000 et 1700 ppm en occupation. En conséquence, l'indice calculé de confinement (indice ICONE) est très élevé : 4. Cela correspond à un local confiné.

- Le CO₂ n'est pas un polluant à proprement parlé, le dépassement des seuils n'a donc pas de conséquence sur la santé ; en revanche, il peut y avoir des conséquences sur la concentration des étudiants. Le CO₂ étant un marqueur du niveau de ventilation des locaux, cela peut aller de pair avec des concentrations élevées.

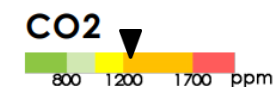
■ Analyse des résultats de la salle de TD B102 (salle rénovée et ventilée)

Dans la salle B102, l'enregistrement a duré du vendredi au mercredi matin, avec mesure de CO₂, de formaldéhyde et de COV, ainsi que d'indicateurs de confort (température et hygrométrie).

► Concentrations en CO₂ sur les journées avec occupation



CO ₂ – Salle TD B102	Valeur recommandée (ppm)	Mesure (ppm)
Valeur moyenne en occupation	Entre 400 et 1500	1234
Valeur maximale	-	1527
Indice de confinement (ICONE)	Entre 0 et 2	2



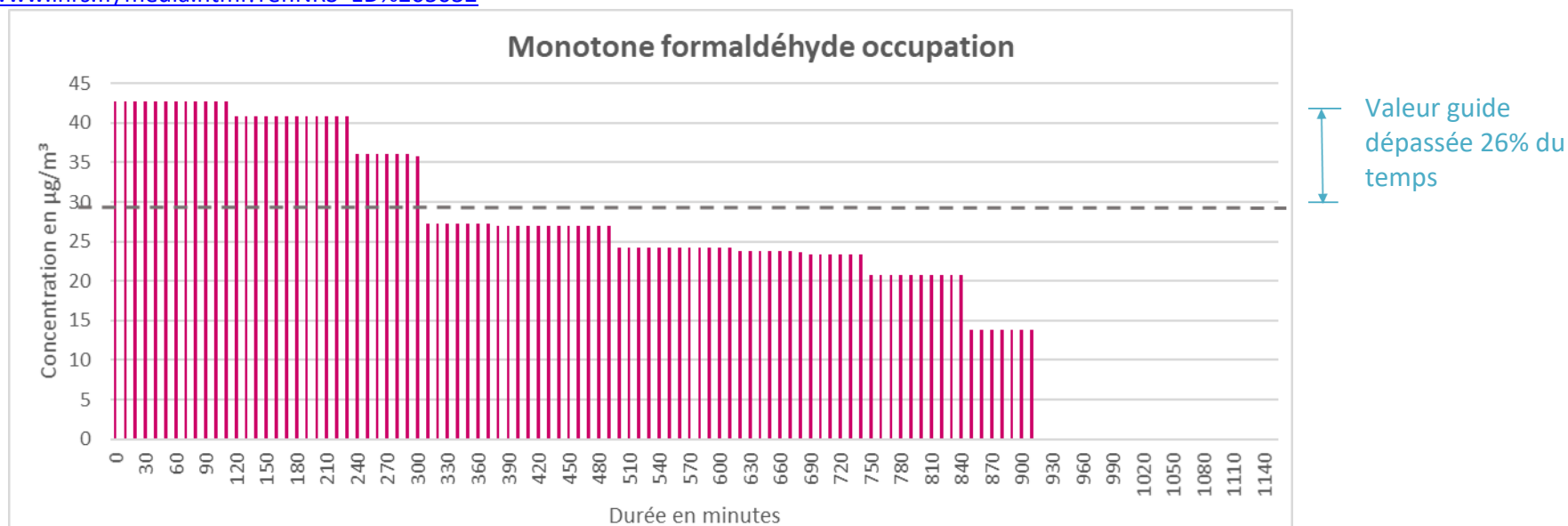
➔ Analyses

- La concentration en CO₂ dépasse systématiquement les seuils des 1000 ppm en occupation mais n'atteint jamais le seuil des 1700ppm. En conséquence, l'indice calculé de confinement (indice ICONE) est moyen :2. Il n'y a pas de problème majeur de renouvellement d'air dans ce local.

► Concentrations en formaldéhyde

Le formaldéhyde est un composé organique très volatil (COV). Le formaldéhyde est une substance retrouvée principalement dans les environnements intérieurs car les sources y sont multiples : produits de construction, ameublement, produits détergents, etc... Il est également émis naturellement lors de tout phénomène de combustion (feux, fumée de cigarette) et lors d'activités anthropiques (cuisson des aliments, poêle à bois).

Informations : <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205032>



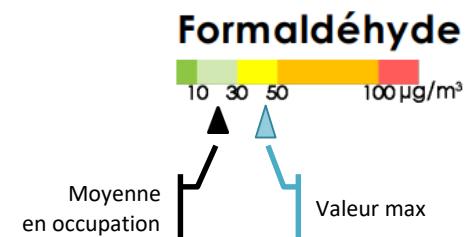
Formaldéhydes	Résultats	
	Valeur guide ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mesure ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Valeur moyenne en occupation	30	23
Valeur moyenne sur la période de mesure		6
Valeur maximale relevée	100	43

➔ Analyses

Le taux est toujours inférieur au seuil limite (exposition ponctuelle) de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

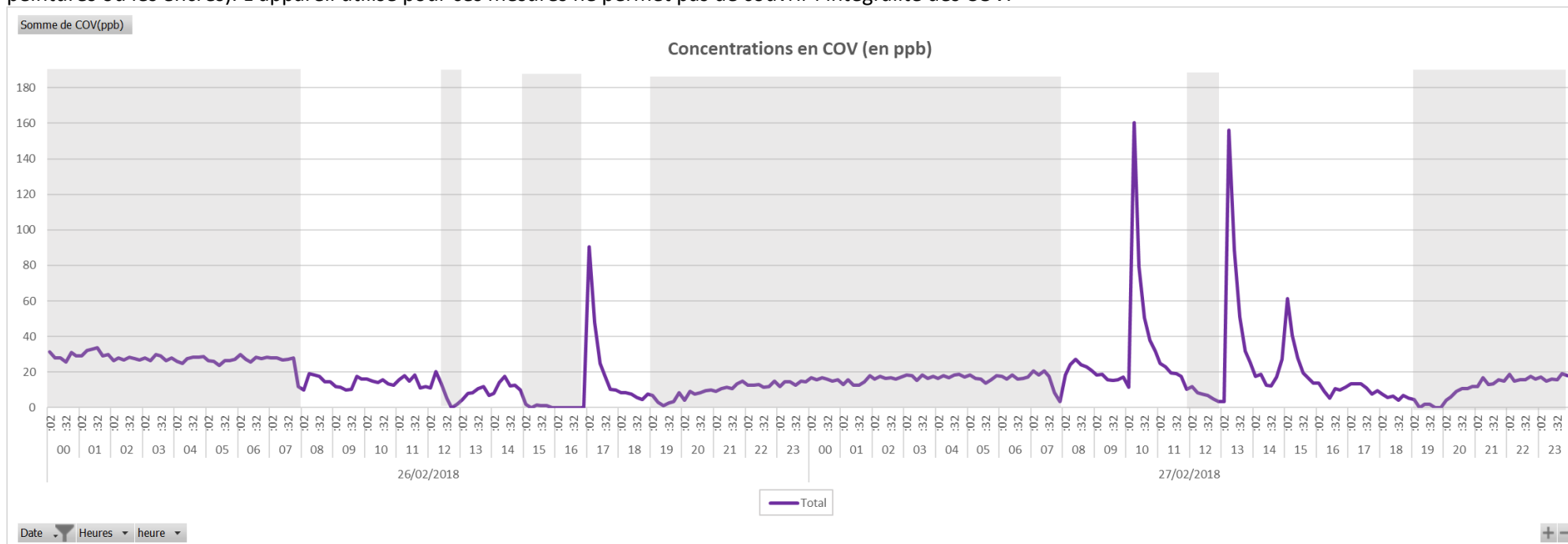
En période d'occupation, la concentration reste globalement sous la valeur cible (exposition continue) de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette valeur cible est dépassée 26% du temps en occupation (cf monotone ci-dessus).

On peut donc considérer que pour ce polluant les conditions sont satisfaisantes au regard de la réglementation actuelle (attention, évolution en 2023 : $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

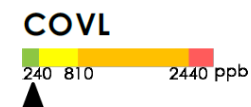


► Concentrations en COV

Les COV regroupent une multitude de substances, qui peuvent être d'origine biogénique (naturelle) ou anthropique (humaine). Les plus connus sont le butane, le toluène, l'éthanol (alcool à 90°), l'acétone et le benzène que l'on retrouve dans l'industrie, le plus souvent sous la forme de solvants organiques (par exemple dans les peintures ou les encres). L'appareil utilisé pour ces mesures ne permet pas de couvrir l'intégralité des COV.



COV légers (Activité)	Résultats	
	Valeur guide (ppb)	Mesure (ppb)
Valeur moyenne en occupation	-	20
Valeur moyenne sur la période de mesure (y compris nuits et weekend)	-	20
Valeur maximale	-	160



L'unité de mesure COV : le ppb.

Il s'agit du rapport entre le nombre de molécules de COV et le nombre total de molécules d'air auquel il est mélangé ; il est exprimé en partie par milliard (ppb).

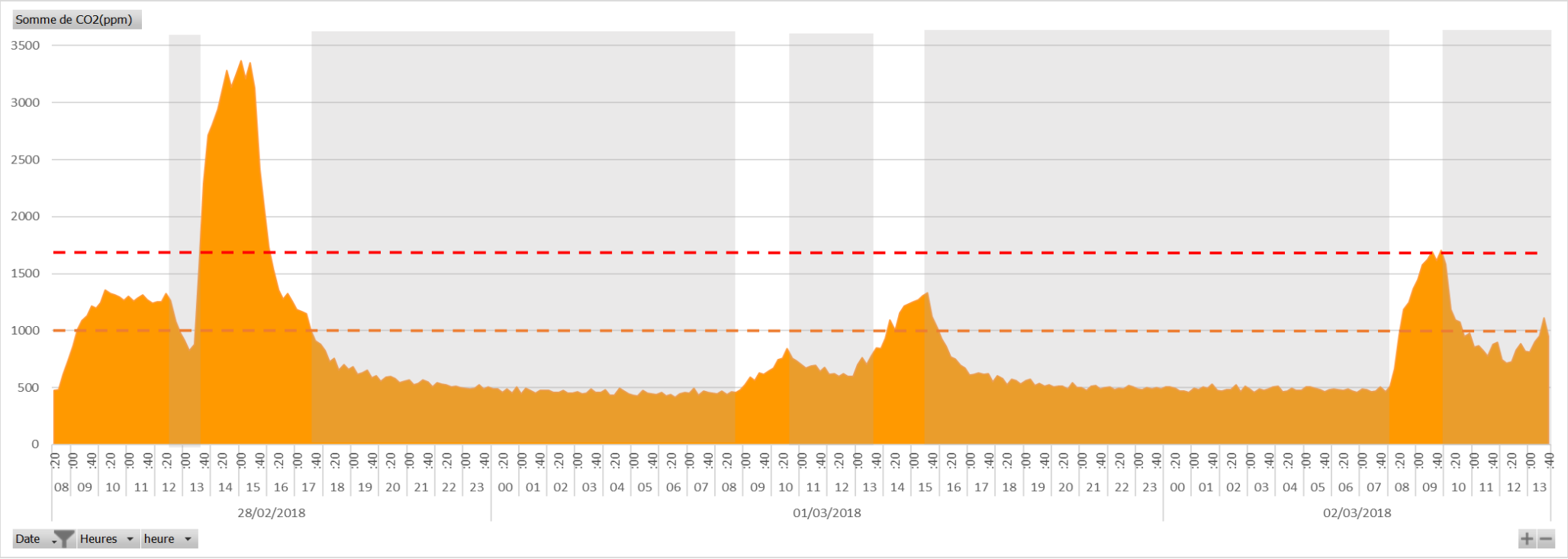
➔ Analyses

- On n'identifie pas les heures de ménages sur ces graphiques.
- On constate des émissions de COV diverses sur les différentes plages d'occupation, mais n'atteignant pas des seuils inquiétants.

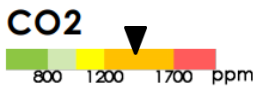
■ Analyse des résultats de l’amphi 4

Dans l’amphi 4, l’enregistrement a duré du mercredi matin au vendredi midi, avec mesure de CO₂, de formaldéhyde et de COV, ainsi que d’indicateurs de confort.

► Concentrations en CO₂ sur les journées avec occupation



CO ₂ – Amphi 4	Valeur recommandée (ppm)	Mesure (ppm)
Valeur moyenne en occupation	Entre 0 et 1500	1393
Valeur maximale	-	3370
Indice de confinement (ICONE)	Entre 0 et 2	3



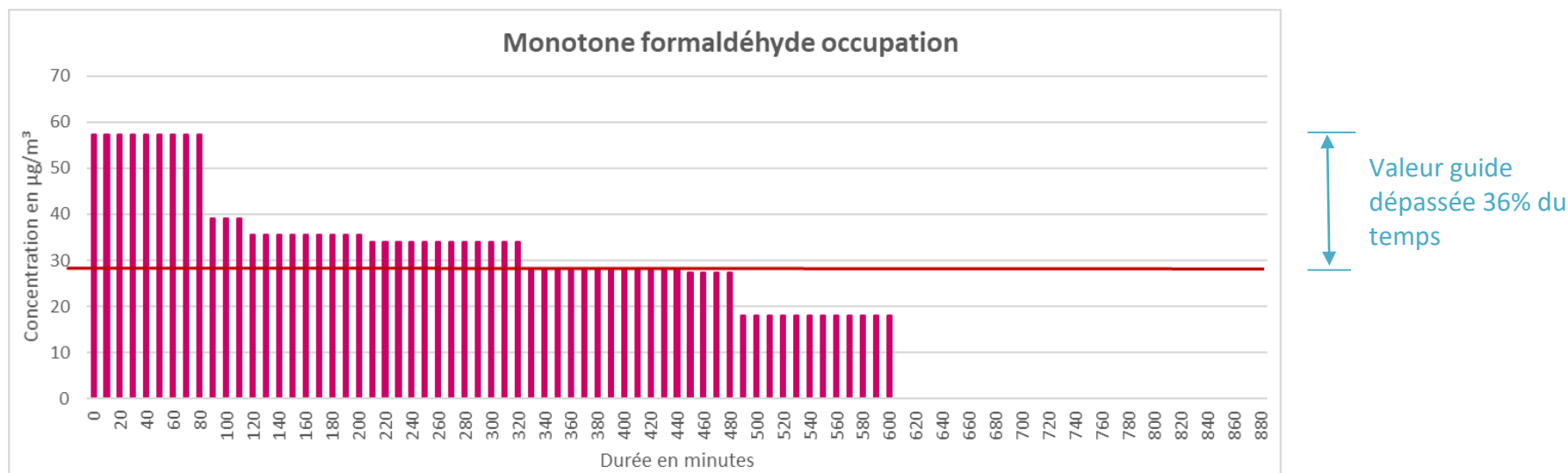
➔ Analyses

- La concentration en CO₂ dépasse régulièrement les seuils des 1000 ppm en occupation mais n’atteint que rarement le seuil des 1700ppm. Lorsqu’il le dépasse le mardi lors du cours de 13h30-15h30, il le dépasse très fortement et atteint le pic de 3370. En conséquence, l’indice calculé de confinement (indice ICONE) est élevé :3.
- On peut en conclure qu’une ventilation fonctionne bien dans ce local, mais qu’elle a été probablement sous-dimensionné par rapport à la capacité de la salle.

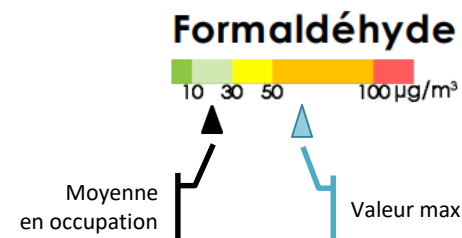
► Concentrations en formaldéhyde

Le formaldéhyde est un composé organique très volatil (COV). Le formaldéhyde est une substance retrouvée principalement dans les environnements intérieurs car les sources y sont multiples : produits de construction, ameublement, produits détergents, etc... Il est également émis naturellement lors de tout phénomène de combustion (feux, fumée de cigarette) et lors d'activités anthropiques (cuisson des aliments, poêle à bois). Le formaldéhyde est un irritant des yeux, du nez et de la gorge. Suite à une étude américaine, il a été classé en 2005 par l'OMS comme étant un cancérogène certain pour l'homme.

Informations : <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%205032>



Formaldéhydes	Résultats	
	Valeur guide ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mesure ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Valeur moyenne en occupation	30	23
Valeur moyenne sur la période de mesure		25
Valeur maximale relevée	100	57



➔ Analyses

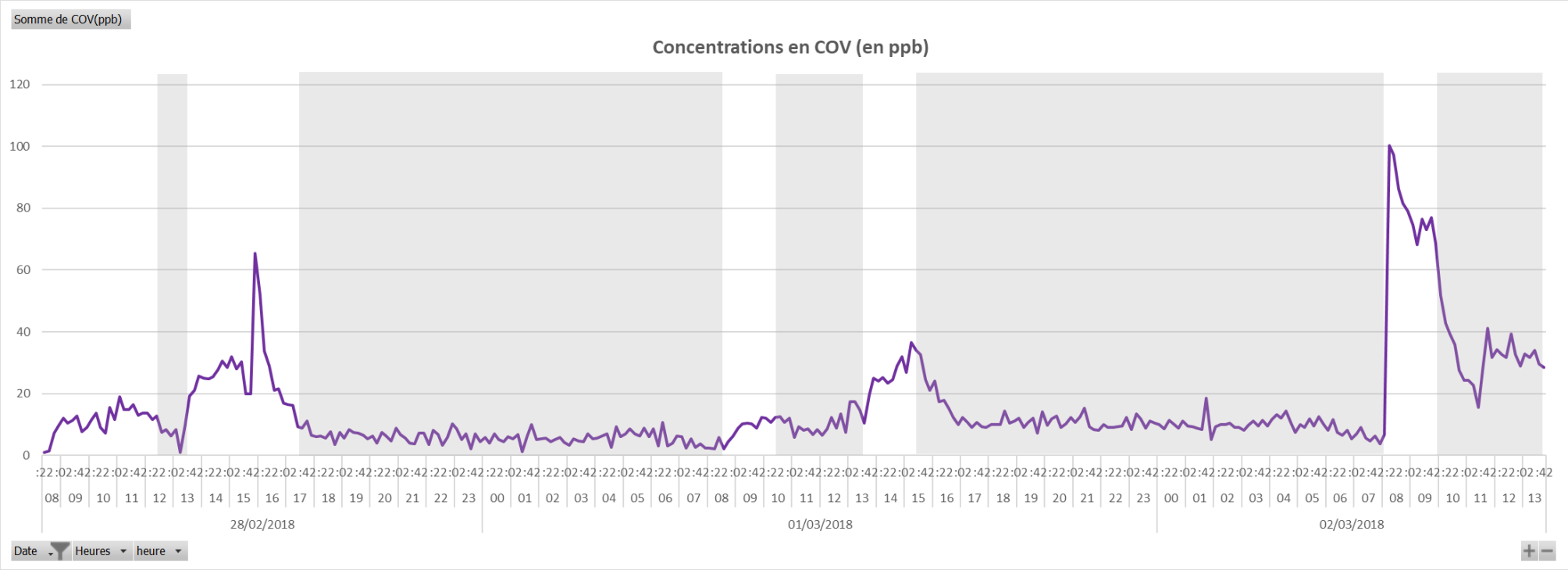
Le taux est toujours inférieur au seuil limite (exposition ponctuelle) de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En période d'occupation, la concentration reste globalement sous la valeur cible (exposition continue) de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette valeur cible est dépassée 36% du temps en occupation (cf monotone ci-dessus).

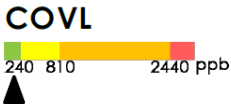
On peut donc considérer que pour ce polluant les conditions sont satisfaisantes au regard de la réglementation actuelle.

► Concentrations en COV

Les COV regroupent une multitude de substances, qui peuvent être d'origine biogénique (naturelle) ou anthropique (humaine). Les plus connus sont le butane, le toluène, l'éthanol (alcool à 90°), l'acétone et le benzène que l'on retrouve dans l'industrie, le plus souvent sous la forme de solvants organiques (par exemple dans les peintures ou les encres). L'appareil utilisé pour ces mesures ne permet pas de couvrir l'intégralité des COV.



COV légers (Activité)	Résultats	
	Valeur guide (ppb)	Mesure (ppb)
Valeur moyenne en occupation	-	26
Valeur moyenne sur la période de mesure (y compris nuits et weekend)	-	15
Valeur maximale	-	100



➔ Analyses

- La concentration en COV augmente lors des cours, mais de manière disparate et pas forcément en corrélation avec la concentration en CO2
- Pas de pics significatifs hors occupation, qui auraient pu correspondre au ménage.

III/ Synthèse

■ Synthèses :

De manière générale, les mesures n'indiquent pas de problème majeur sur les polluants spécifiques type COV ou formaldéhyde.

Les valeurs d'indice de confinement et la concentration maximale de CO₂ atteintes sont en revanche importantes, en particulier dans la salle de TD B107, et dans une moindre mesure dans l'amphi 4.

■ Enseignements & suites à donner :

- Dans les locaux non rénovés, un remplacement des menuiseries sans travail sur les installations de ventilation est à proscrire : dans la salle de TD B107, les concentrations en CO₂ sont problématiques en occupation ; elles redescendent lors de période d'inoccupation prolongée (la nuit typiquement) grâce aux défauts d'étanchéité des fenêtres. Un remplacement des menuiseries interdirait cette baisse de concentration et rendrait les locaux impropres à l'enseignement.
 >> traiter conjointement remplacement des menuiseries et système de ventilation.
- Dans la salle de TD rénovée et ventilée, on ne constate pas de problème de confinement.
 >> un traitement global des locaux permet de résoudre à la fois les problématiques de vétusté, d'acoustique, de thermique et de qualité de l'air.
- Dans l'amphi rénové, on constate un problème de confinement selon le nombre d'étudiants présents dans l'amphi. Plusieurs explications possibles :
 - Le dimensionnement des débits est insuffisant (possiblement malgré un respect de la réglementation).
 - Le système de ventilation installé n'est pas conforme aux prescriptions (débit sous-dimensionné, réseau aéraulique non étanche, bouches non raccordées...)
 - Les installations sont mal réglées (mauvais équilibrages des débits entre les différentes branches du réseau). >> un travail d'investigation pourrait permettre d'apprendre à partir de ce cas réel.
- Afin de poursuivre la réflexion sur le sujet de la qualité de l'air dans les locaux d'enseignement de l'UGA, il pourrait être envisagé de travailler de manière cyclique sur ce sujet à l'aide de stagiaires sur la période de février à juin, en acquérant du matériel de mesure en propre. Cela permettrait aux équipes de l'UGA de monter en compétence à partir de mesures réelles sur ses propres bâtiments.

IV/Annexes : Réglementation QAI

Les dispositions réglementaires se décomposent en deux phases. Tout d'abord un état des lieux puis la mise en œuvre d'actions qui peut prendre deux formes.

État des lieux

L'évaluation des moyens d'aération a un double objectif :

- Vérifier que les pièces donnant sur l'extérieur peuvent être aérées (opérabilité et accessibilité des ouvrants),
- Vérifier que les bouches ou grilles d'aération existantes ne sont pas obstruées ou trop encrassées.

Aucune mesure de débit n'est donc exigée (on pourra se contenter du test de la feuille collée sur la bouche d'extraction pour vérifier l'existence d'une dépression). L'obligation consiste à compléter le rapport type (à minima).

Mise en place d'actions

Il est possible au choix, soit la mise en œuvre d'un programme d'action (1) à titre préventif ou la réalisation d'une campagne de mesures de polluants (2).

1/ Étapes d'élaboration du plan d'action

- Évaluation préalable à partir des grilles d'autodiagnostic du « guide pratique pour une meilleure QAI dans les lieux accueillant des enfants ».
- Définition du programme d'action avec : titre de l'action / description / responsable / calendrier (ce programme est tenu à la disposition du préfet ou de ses représentants).
- Pas de modèle type, ni d'obligation spécifiques.

2/ Modalité de la campagne de mesures

- Organismes accrédités COFRAC.
- Respect d'un protocole d'instrumentation stricte (échantillonnage, périodes de mesure, ...).
- Analyse basée sur la comparaison des résultats à des valeurs de référence (cf. tableau ci-après).

Valeurs guides : niveau à atteindre dans la mesure du possible,

Valeurs limites : niveau à ne pas dépasser. Nécessite des investigations complémentaires et la transmission des résultats au préfet. Mesure à réactualiser tous les 2 ans jusqu'à l'atteinte de la valeur seuil (point à confirmer, les textes ne sont pas clairs à ce sujet).

Rappel des valeurs réglementaires disponibles pour l'interprétation des résultats dans le cadre de la surveillance de la QAI dans les ERP

Substances	Valeur-guide pour l'air intérieur		Valeur-limite
Formaldéhyde (FA)	30 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2015	10 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2023	100 µg/m³
Benzène (BE)	5 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2013	2 µg/m³ pour une exposition de longue durée à compter du 1 ^{er} janvier 2016	10 µg/m³
Dioxyde de carbone CO ₂			Indice de confinement de niveau 5*
Tétrachloroéthylène (PCE)			1 250 µg/m³

**Un indice de confinement de 5 correspond à des pics de concentration en CO₂ élevés supérieurs à 4 000 ppm (partie par million) et à des valeurs moyennes pendant l'occupation supérieures à 2 000 ppm.*