

Etude de l'impact du nettoyage à l'eau ozonée sur la qualité de l'air intérieur à l'Université de Lorraine Vandœuvre-lès-Nancy



Périodes de mesures :

Du 8 au 15 janvier 2024
(en période de chauffe)

Dans un contexte de trouver une alternative aux produits d'entretien classiques, l'Université de Lorraine a fait le choix d'utiliser l'eau ozonée pour nettoyer ses locaux. L'utilisation de l'eau ozonée en tant que bactéricide et désinfectant est connue de longue date. Cependant l'impact de cette méthode de nettoyage sur la qualité de l'air intérieur a été peu étudiée, notamment l'exposition des occupants par rapport aux éventuels polluants générés lors de son utilisation. L'INRS met en garde et soulève des interrogations face à l'utilisation de ce type de pratique dans son communiqué du 14 septembre 2023. L'Université de Lorraine a donc sollicité l'expertise d'ATMO Grand Est pour effectuer une campagne de mesure afin de répondre à ces interrogations. Ce rapport présente les résultats de cette campagne réalisée en période de chauffe avec pour comparaison les valeurs de références de la qualité de l'air intérieur actuellement en vigueur.



Capteur Class'Air : utilisé pour la mesure de la température, de l'humidité relative et du dioxyde de carbone.



Tubes passifs : utilisés pour la mesure des COV.

Suivi de 3 pièces (local génération d'ozone et 2 salles de cours) pour :

- **Paramètres de confort/ambiance** : Température, Humidité Relative.
- **Confinement** : dioxyde de carbone CO₂ (en phase d'occupation).
- **Indicateurs des matériaux, activités ménage, etc.** : **COV** (Composés Organiques Volatils), les aldéhydes (dont formaldéhyde) potentiels sous-produits de l'ozone et le benzène.
- **Utilisation spécifique de l'eau ozonée** : suivi ozone O₃ et dioxyde d'azote NO₂ (polluant secondaire suspecté lors de l'utilisation eau ozonée)

Suivi d'un **site extérieur** de proximité pour :

- **Paramètres de confort/ambiance** : Température, Humidité Relative.
- **Indicateur du trafic routier** : benzène.



Pour pouvoir se référer à des valeurs guides long terme, il est recommandé d'effectuer deux séries de prélèvements, chacune dans des conditions climatiques contrastées, et en période d'occupation normale (exposition réelle des personnes). La moyenne des deux séries de prélèvements permet d'approcher un état annuel de la qualité de l'air en prenant en compte les variabilités temporelles des concentrations de polluants dans l'air.

Les résultats de la présente campagne de prélèvement sont représentatifs uniquement de la période couverte. Les résultats sont cependant mis à titre d'information en perspective avec les valeurs de référence existantes à ce jour.

Par ailleurs, bien que la typologie des bâtiments ne soit pas la même, les résultats sont également comparés à titre indicatif aux données de la campagne nationale école de l'OQAI (Observatoire de la Qualité de l'air Intérieur), représentatives de l'état des écoles maternelles et élémentaires françaises (301 écoles enquêtées entre 2013 et 2017).

→ Pièces investiguées

Le tableau présenté ci-dessous indique pour les 3 salles investiguées : leur emplacement au sein du bâtiment, le nom de la salle et la présence ou non d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC).

Pièce	Niveau bâtiment	Pièce	Présence de VMC
Local ménage	Au sous-sol	Génération ozone	Non
Salle E37	Au rez-de-chaussée	Cours (petite salle)	Non
Salle E27	Au rez-de-chaussée	Cours (grande salle)	Non



Local générateur
eau ozonée



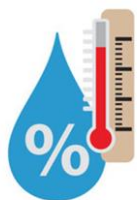
Salle E37



Salle E27



Température et humidité relative



Le confort hygrothermique (température et humidité relative), est subjectif et dépendant d'autres paramètres (vitesse de l'air, habillement...), mais il est possible de définir des plages jugées acceptables.

Par exemple, le diagramme de Fauconnier suggère pour un confort optimal les plages de températures et d'humidité relative associées. Une humidité trop faible (< 30%) peut donner une sensation de sécheresse gênante sur le plan respiratoire, cutanée et oculaire. Une humidité relative trop importante (>70%) peut favoriser le développement de moisissures.

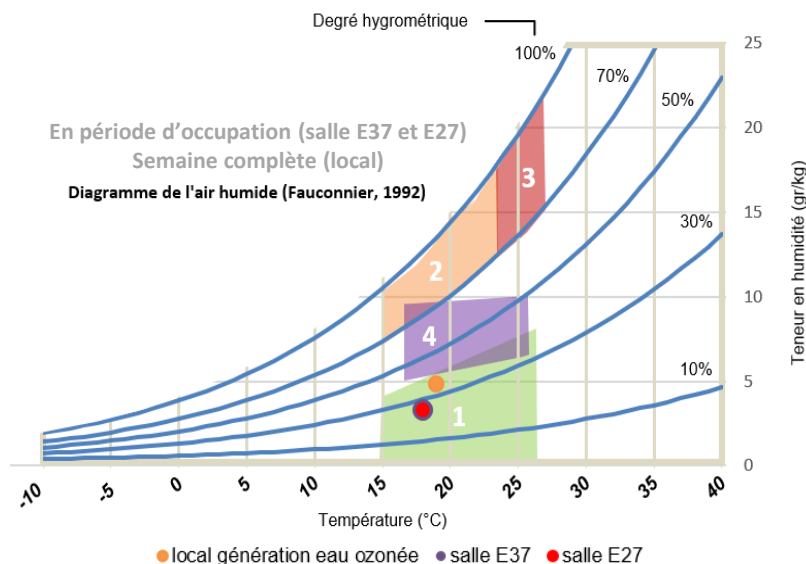
En période d'occupation		HUMIDITE RELATIVE (%)			TEMPERATURE (°C)		
		moy	max	min	moy	max	min
Chauffe	Local eau ozonée *	35,3	40,0	26,0	18,7	19,5	13,2
	Salle E37	24,8	36,0	18,0	17,9	24,0	14,5
	Salle E27	25,6	34,0	17,0	17,8	22,3	13,9
	Extérieur	77,4	93,1	46,4	-3,0	6,3	-7,3

Valeur en intérieur en dehors des préconisations (T°C entre 18 et 22°C, humidité entre 40 et 60%)

Les statistiques figurant dans le tableau ont été calculées pendant les heures de présence des élèves sauf pour le local génération eau ozonée* qui ont été calculées sur la semaine complète.

Plages de température-humidité :

- 1 : Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
- 3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 4 : Polygone de confort hygrothermique



Sur la période de chauffe et d'occupation, les salles de cours se positionnent dans la zone de sécheresse (voir diagrammes de Fauconnier ci-dessus). Les températures moyennes sont faibles (proche de 18 °C) et les humidités relatives sont particulièrement faibles (inférieures à 30%) dans les deux salles (en rouge dans le tableau). A noter que des humidités relatives faibles peuvent entraîner des sensations d'inconfort pour les occupants (sensation gênante sur le plan respiratoire, cutanées et oculaires). Pour le local sur la semaine complète, lieu très peu fréquenté hormis par le personnel d'entretien, la pièce reste plutôt sèche (humidité relative inférieure à 40%) et la température moyenne est comprise dans les valeurs préconisées

→ Dioxyde de carbone (indicateur du confinement d'une pièce)



Un **indicateur du confinement** est la mesure du **dioxyde de carbone (CO₂)**. En effet, émis par la respiration des personnes présentes, **son accumulation au sein de locaux traduit le manque de renouvellement de l'air**.

Pour la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur dans certains ERP, un indice de confinement a été développé (décret 2012-14 du 5 janvier 2012).

Celui-ci est calculé à partir de la fréquence et de l'intensité des niveaux de CO₂ autour des valeurs seuils de 800 et 1500 ppm lors de l'occupation des locaux. Sur une échelle croissante de 5 niveaux, 0 correspond à un confinement 'nul', 1 'faible', 2 'moyen', 3 'élevé', 4 'très élevé' et 5 reflète un confinement 'extrême'.

Plus les concentrations en CO₂ dépassent la valeur de 1500 ppm et plus l'indice sera élevé.

CSTB (2012) : 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

ICONE	Nature du confinement	INFORMATIONS
0	Confinement nul	Néant
1	Confinement faible	
2	Confinement moyen	
3	Confinement élevé	
4	Confinement très élevé	<p>Message de sensibilisation destiné au maître d'ouvrage : Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque ces salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. En l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant les périodes d'occupation.</p>
5	Confinement extrême	<p>Message de sensibilisation destiné au maître d'ouvrage : Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque ces salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est recommandé de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. En l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est recommandé d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant les périodes d'occupation.</p> <p>Actions à mener par le maître d'ouvrage ou l'exploitant de l'établissement : Nécessité de mener toute expertise nécessaire pour identifier les causes du confinement extrême dans l'établissement.</p> <p>Actions à mener par l'organisme en charge de la réalisation des mesures sur site : Information au préfet du lieu d'implantation de l'établissement dans un délai de quinze jours après réception de l'ensemble des résultats d'analyse.</p>

	n° salle	valeur indice	nature du confinement	informations
Chauffe	Local eau ozonée*	/	/	/
	Salle E37	2	moyen	néant
	Salle E27	2	moyen	néant

* Afin de calculer l'indice ICONE, un minimum d'occupation de 12h par semaine est nécessaire, ce qui n'est pas le cas pour cette pièce.

A partir des plannings d'occupation des salles, les indices de confinement ont pu être calculés pendant la période de chauffe. Les indices sont décrits par le tableau du guide du CSTB (page précédente), qui indique **aussi les messages de sensibilisation associés** à partir de l'indice 4. Les résultats de la présente campagne de prélèvement sont représentatifs uniquement de la période couverte. Aucune pratique d'aération (exemple : ouverture fenêtres et/ou porte) n'a été recensée dans les questionnaires.

Les résultats font apparaître :

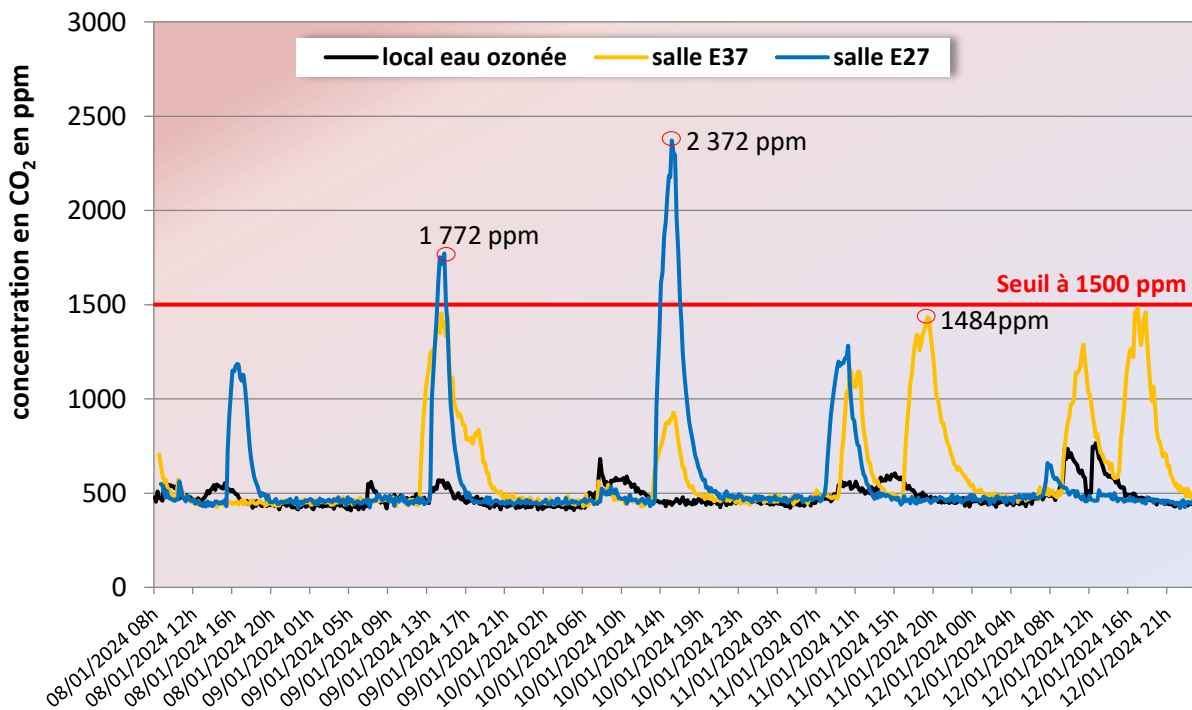
- ✓ Lors de la **période de chauffe**, les salles de cours E37 et E27 présentent toutes les deux des valeurs d'indice correspondants à **confinement de type moyen**.

De manière générale, il est conseillé d'effectuer des pratiques d'aération, pour assurer un bon renouvellement d'air dans les salles (privilégier l'ouverture des fenêtres en grand pour maximiser le renouvellement d'air).

Pour information, lors de la campagne dans 8 lycées du Grand Est en 2022, en campagne hivernale 34 % des salles de classe présentaient des indices de 0 à 2 et 12 % montraient un problème de confinement extrême avec un indice de 5.

➔ Suivi dynamique dioxyde de carbone

Concentration en CO₂ - Université de Lorraine



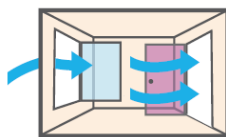
Sur la **période de chauffe**, la concentration en CO₂ dépasse la valeur seuil de 1500 ppm en période d'occupation dans la **salle de cours E27**, tandis que les deux autres pièces (salle E37 et local génération eau ozonée) ne dépassent pas ce seuil :

- ✓ La **salle E27** présente une concentration moyenne en période d'occupation de 934 ppm avec un pic maximal de 2372 ppm le 10/01 à 15h50, salle occupée par 41 élèves depuis 14h l'après-midi. Pour ce pic, la concentration augmente progressivement dès l'arrivée des élèves et dépasse 1500 ppm en 40 minutes, elle redescend ensuite en dessous de 800 ppm, 2 heures après le départ des élèves. Le seuil réglementaire est franchi également la veille (le 09/01) avec un pic maximal de 1772 ppm à 15h30.
- ✓ La **salle E37** présente une concentration moyenne en période d'occupation de 869 ppm avec un pic maximal de 1484 ppm le 12/01 à 18h20, salle occupée par 19 élèves depuis 16h. La concentration en CO₂ dépasse 1000 ppm quasiment tous les jours de la semaine sauf lundi et mercredi (salle peu fréquentée par les élèves). Elle dépasse 1000 ppm environ 40 minutes après l'arrivée des élèves et il faut environ 1 à 2h pour redescendre en dessous de 800 ppm après le départ des élèves. Le seuil de 1500 ppm n'est jamais franchi.

La baisse des niveaux de CO₂ est principalement liée au départ des élèves, en effet aucune aération n'a été indiquée dans les questionnaires, cela explique pourquoi le dioxyde de carbone met du temps à être évacué des pièces. Sur cette période de chauffe, pour l'ensemble des salles, les dépassements ponctuels des seuils ne sont pas problématiques, néanmoins la mise en place de pratiques d'aération permettrait de maximiser le renouvellement d'air, notamment pour la salle E27.

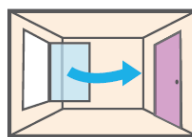
AERER

Une aération régulière permet de préserver une bonne qualité de l'air intérieur.



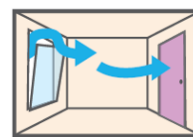
L'aération transversale

2 à 4 minutes



L'aération en grand

4 à 10 minutes



L'aération par entrebâillement

Inefficace



Les composés organiques volatils (COV)



Les **Composés Organiques Volatils** regroupent une **multitude de familles chimiques** (aldéhydes, hydrocarbures, terpènes, éthers de glycol, alcool, composés chlorés...). Les **COV** sont souvent **plus nombreux et plus concentrés à l'intérieur qu'à l'extérieur**, en lien avec la multiplicité des sources présentes.



Dans l'**air intérieur**, les COV sont émis par les **produits de décoration et de construction**, les **produits d'entretien**, les **peintures à phase solvant**, les **colles**, les **verniss**, le **tabagisme**, les **désodorisants...** et peuvent être des polluants secondaires produits par réaction chimique. L'environnement extérieur (industries, chauffages, trafic routier...) peut également influencer les concentrations de certains COV (le benzène par exemple).



Au cours de cette série de prélèvements, les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes) ainsi que des aldéhydes ont été recherchés dans l'ensemble des salles.



Le **formaldéhyde** et le **benzène**, qui disposent de **valeurs guides réglementaires**, sont présentés **spécifiquement** dans cette synthèse. Si des COV ont été identifiés, ils sont cités.

→ Les aldéhydes

Parmi les aldéhydes, le **formaldéhyde** dispose de **valeurs guides réglementaires** établies par **décret (2011-1727)** : soit **30 µg/m³** depuis 2015. Il dispose également d'une valeur limite de 100 µg/m³.

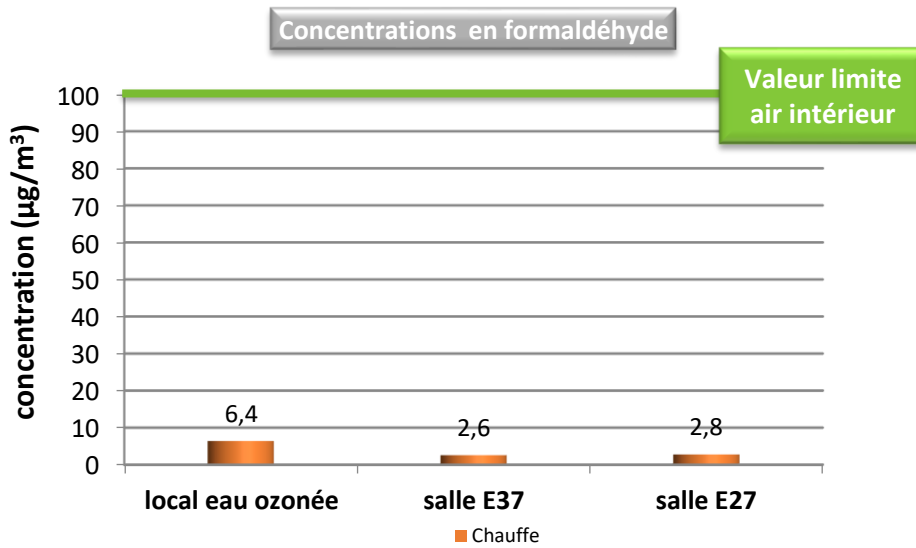


Substance irritante pour le nez et les voies respiratoires, le formaldéhyde est classé **cancérogène certain** par le CIRC (centre international de recherche sur le cancer).

Ce polluant est intégré dans la réglementation relative à certains établissements recevant du public (décrets n° 2022-1689 et n° 2022-1690 du 27 décembre 2022) :

1^{er} janvier 2018 : accueil collectif des enfants de moins de 6 ans et écoles maternelles et élémentaires.

1^{er} janvier 2020 : pour les accueils de loisirs et les établissements d'enseignement du second degré.



Le tableau présenté ci-dessous renseigne sur les autres aldéhydes mesurés au cours de la campagne dans les 3 pièces. Les valeurs obtenues pour l'acétaldéhyde sont comparées à **titre indicatif** à la médiane OQAI (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur) calculée suite à l'enquête nationale sur la qualité de l'air dans les écoles (OQAI 2013-2017).

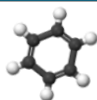
	Concentrations en µg/m ³	local eau ozonée	salle E37	salle E27	OQAI - médiane
<i>Chauffe</i>	Acétaldéhyde	2,63	2,83	0,37	5,1
	Hexaldéhyde	1,39	<LQ*	<LQ*	11,8
	Propionaldéhyde	0,95	0,78	0,77	/
	Butyraldéhyde	1,79	1,68	1,68	/
	Benzaldéhyde	<LQ*	<LQ*	<LQ*	/
	Valéraldéhyde	<LQ*	<LQ*	<LQ*	/

* <LQ : concentration inférieure à la limite de quantification

Les concentrations en formaldéhyde se situent en dessous de la valeur guide à 30 µg/m³ pour toutes les salles instrumentées. L'information étant à calculer en principe sur la base de deux campagnes (hors et chauffe), elle est donnée ici à **titre indicatif**. Les concentrations sont également inférieures à la valeur limite (fixée à 100 µg/m³). Les valeurs sont inférieures à celle habituellement observée en air intérieur (campagne écoles OQAI en décembre 2019 médiane : 19,3 µg/m³). La concentration dans le local eau ozonée (6,4 µg/m³) est un peu plus élevée que dans les autres salles mais reste très en dessous de la valeur limite. Cette observation montre qu'il y a peut-être un peu de formation de formaldéhyde pendant la génération d'ozone dans le local.

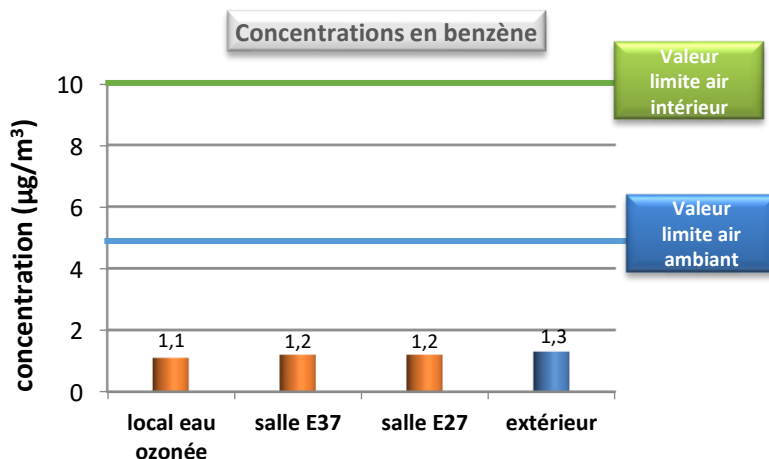
Les concentrations d'hexaldéhyde et acétaldéhyde sont également inférieures aux résultats de la campagne écoles. Les niveaux des autres aldéhydes (propionaldéhyde, butyraldéhyde, benzaldéhyde et valéraldéhyde) sont considérés comme faibles.

➔ Le benzène – prélèvement passif



Classé cancérogène certain par le CIRC, le **benzène** dispose de **valeurs guides réglementaires** établies par **décret (2011-1727)** : depuis 2013 : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et **depuis 2016 : $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$** . Il dispose également d'une valeur limite de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Au même titre que le formaldéhyde, ce polluant est intégré dans le cadre de la surveillance **réglementaire** dans **certains ERP** (décrets n° 2022-1689 et n° 2022-1690 du 27 décembre 2022).



Le tableau présenté ci-dessous renseigne sur les autres composés faisant partis de la famille des BTEX. Les valeurs obtenues sont comparées à la médiane OQAI (Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur) calculée suite à l'enquête nationale sur la qualité de l'air dans les écoles 2013-2017.

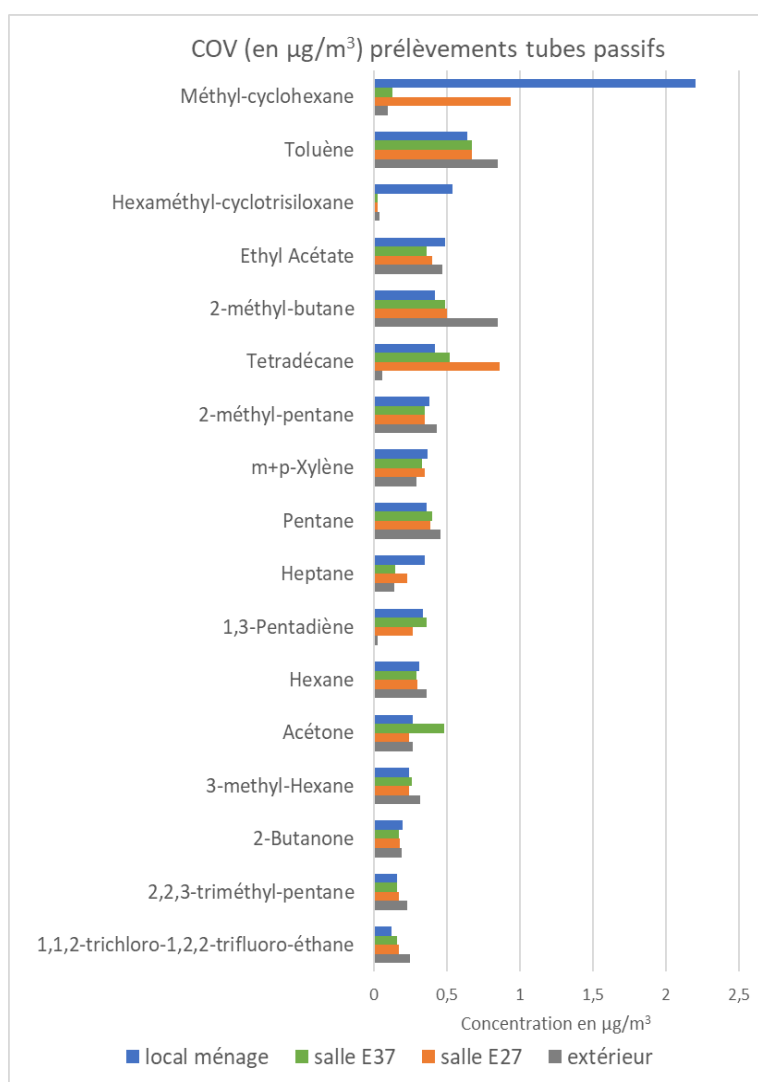
Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Local Eau ozonée	Salle E37	Salle E27	OQAI médiane	Ext
Benzène	1,1	1,2	1,2	2,1	1,2
Toluène	0,64	0,67	0,67	12,2	0,85
Ethylbenzène	0,15	0,14	0,14	2,3	0,11
m+p-xylène	0,37	0,33	0,35	5,6	0,29
o-xylène	0,16	0,15	0,15	2,3	0,13

- ✓ Les concentrations en **benzène en intérieur sont faibles et inférieures** à la **valeur guide réglementaire de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$** . La concentration en benzène est similaire à ce qui est habituellement mesuré dans les écoles (médiane de la campagne OQAI campagne nationale école égale à $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). L'information étant à calculer en principe sur la base de 2 campagnes (hivernale et estivale), elle est donnée ici à **titre indicatif**. Les concentrations mesurées dans les salles sont également inférieures à la valeur limite (fixée à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- ✓ Le benzène retrouvé dans les salles semble être majoritairement issu du transfert de l'extérieur vers l'intérieur. Les sources de benzène sont principalement liées à la présence de voitures à proximité de l'établissement (notamment présent au démarrage des véhicules). La concentration en extérieur peut être qualifiée de faible et reste inférieure à la valeur limite fixée à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'air ambiant.
- ✓ L'ensemble des autres composés (famille BTEX) mesurés **sont moins élevés que ce qui est habituellement relevé dans les écoles (campagne national écoles OQAI 2018)**.

→ Les autres COV - en période de chauffe – prélèvements passifs

Des valeurs guides indicatives ont été proposées pour le toluène, le styrène et les xylènes dans une étude de Koistinen et al. Elles sont de **300 µg/m³ pour le toluène, 200 µg/m³ pour le (m+p)-xylènes et le o-xylène et de 250 µg/m³ pour le styrène (2015)**.

Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a également proposé des valeurs guides indicatives pour le **trichloroéthylène (2 µg/m³: 2012) et le tétrachloroéthylène (250 µg/m³ (2010) avec une valeur d'action rapide de 1250 µg/m³)**.



Les composés organiques volatils (COV) ont été analysés par prélèvement passifs (durée d'exposition 4,5 jours), les concentrations supérieures ou égales à 0,2 µg/m³ sont représentées sur le graphique ci-contre. Les résultats sont détaillés en annexe.

Les concentrations en COV mesurées dans les salles ainsi qu'à l'extérieur sont considérées comme très faibles.

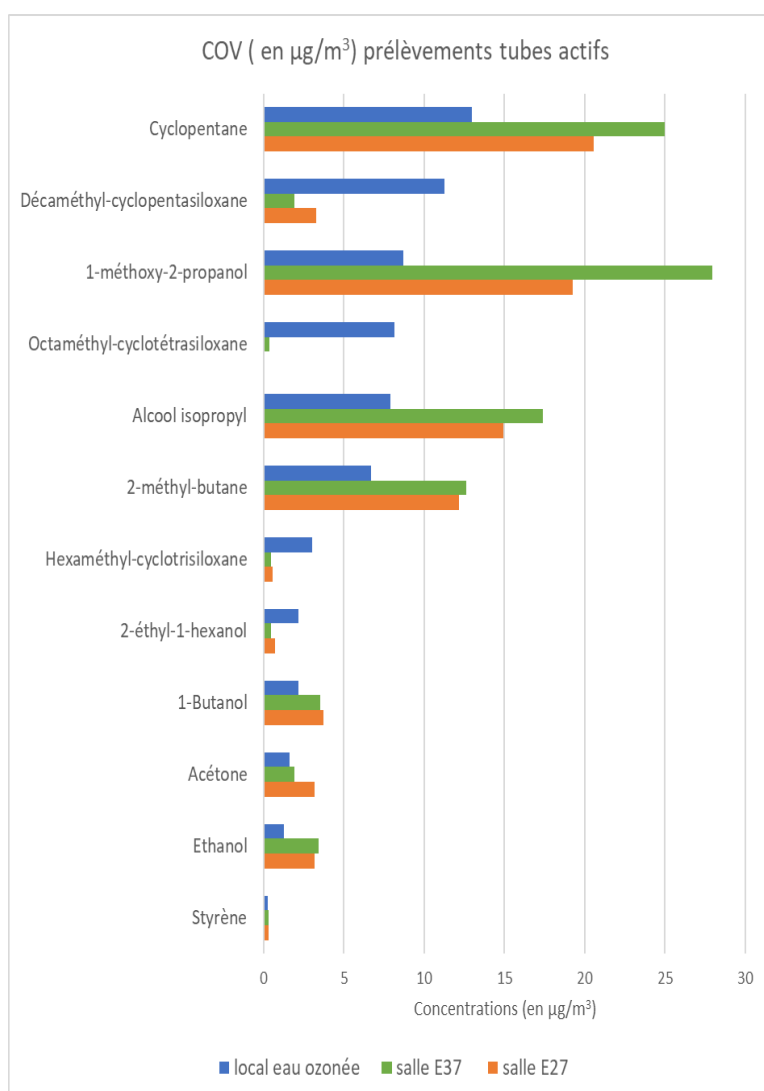
On retrouve principalement des composés de la famille des alcanes, des cétones, des esters et des hydrocarbures aromatiques.

Les sources de ces composés organiques volatils sont multiples et variées. De manière générale, on retrouve ces composés dans les colles, les peintures, les vernis, les cires et les encres qui sont notamment utilisés pour l'ameublement, les revêtements muraux et sols.

La présence de ces composés organiques volatils n'a vraisemblablement pas de lien avec l'utilisation d'eau ozonée dans les salles.

→ Les COV - en période de chauffe – prélèvements actifs

Des prélèvements actifs ont été effectués au niveau des pièces afin de mettre en évidence les composés organiques volatils qui seraient potentiellement émis lors de la génération d’ozone dans le local de ménage, et pendant le nettoyage des salles de cours. Pour cela, un tube actif est placé pendant une heure dans un dispositif de prélèvement doté d’une pompe (GILAIR) prélevant un certain volume d’air (entre 5,5 et 6 L d’air). Les COV dont les concentrations sont supérieures ou égales à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sont représentés sur le graphique ci-dessous. Les résultats sont détaillés en annexe.



Les concentrations en COV mesurées dans les salles sont globalement faibles.

On retrouve principalement des composés de la famille des alcanes, des alcools, des composés siliconés et des hydrocarbures aromatiques.

Les potentielles sources de ces composés organiques volatils (alcanes, alcools, hydrocarbure aromatique) sont multiples et variées. On retrouve ces composés dans les solvants (laques, peintures, vernis, encres) qui sont notamment utilisés pour le mobilier, les revêtements muraux et sols.

Les composés siliconés (déca méthyl/hexaméthylcyclopentasiloxane) sont eux couramment utilisés dans les cosmétiques tels que les déodorants parfumés.

Les concentrations mesurées en COV sont assez faibles et n’ont apparemment pas de lien avec l’utilisation d’eau ozonée dans les salles.

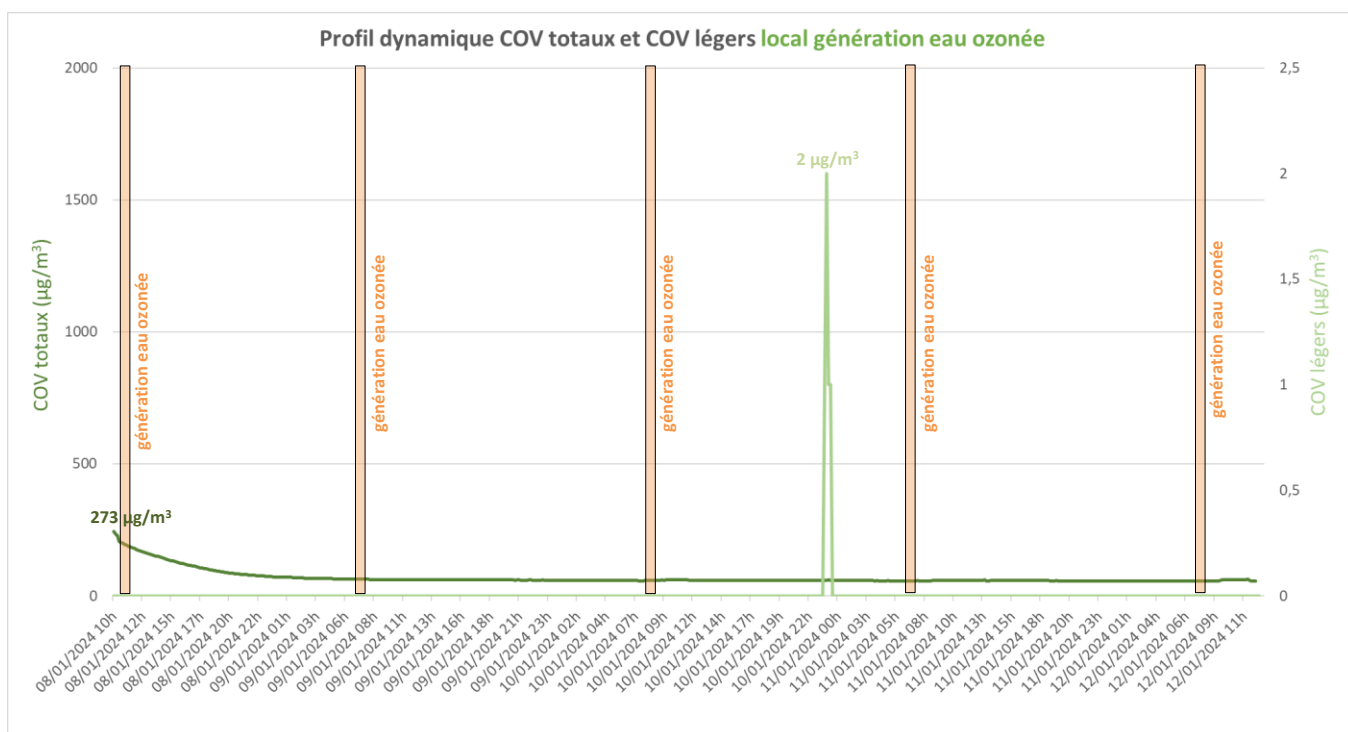
➔ Suivi dynamique des COV totaux



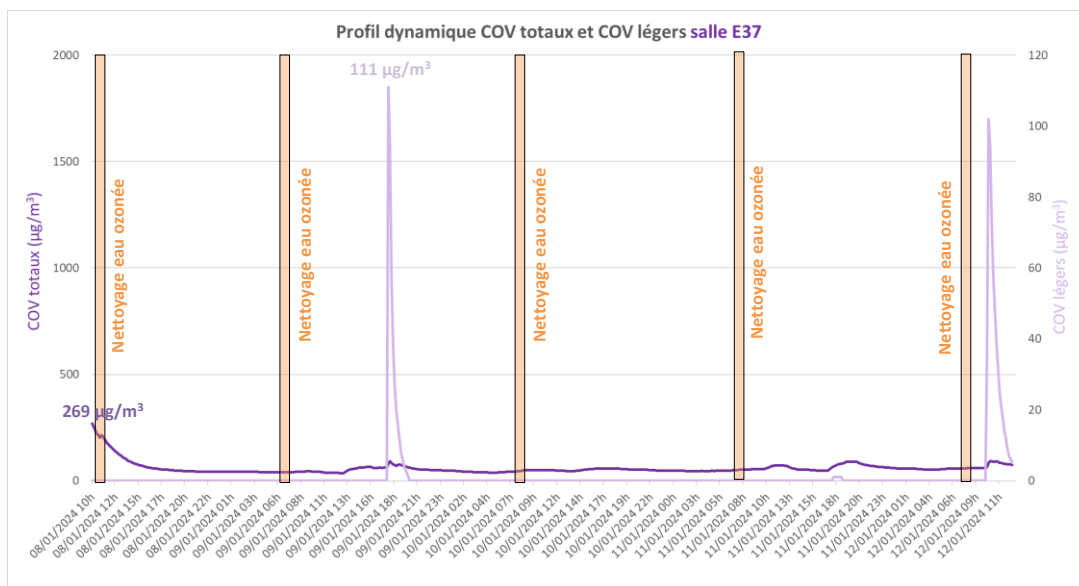
L'évolution dynamique de la charge de polluants (COV uniquement) a été suivie via une balise Fireflies®. La balise constitue un outil de suivi des variations temporelles de la charge totale de COV. Développée et commercialisée par la société Hager Service, la balise fournit des enregistrements toutes les dix minutes des niveaux de composés organiques légers (en équivalent formaldéhyde) et totaux (en équivalent toluène).

Les teneurs ne sont pas spécifiques à un composé particulier mais indicatrices de la charge en composé suivants :

- Formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine, méthanol, éthanol, pour les composés légers;
- Alcanes <C10, cétones <C6, aldéhydes <C10, acides carboxyliques <C5, Alcools <C7, Alcènes <C8, Aromatiques (benzène, toluène... liste non exhaustive) pour les autres composés (COV totaux).

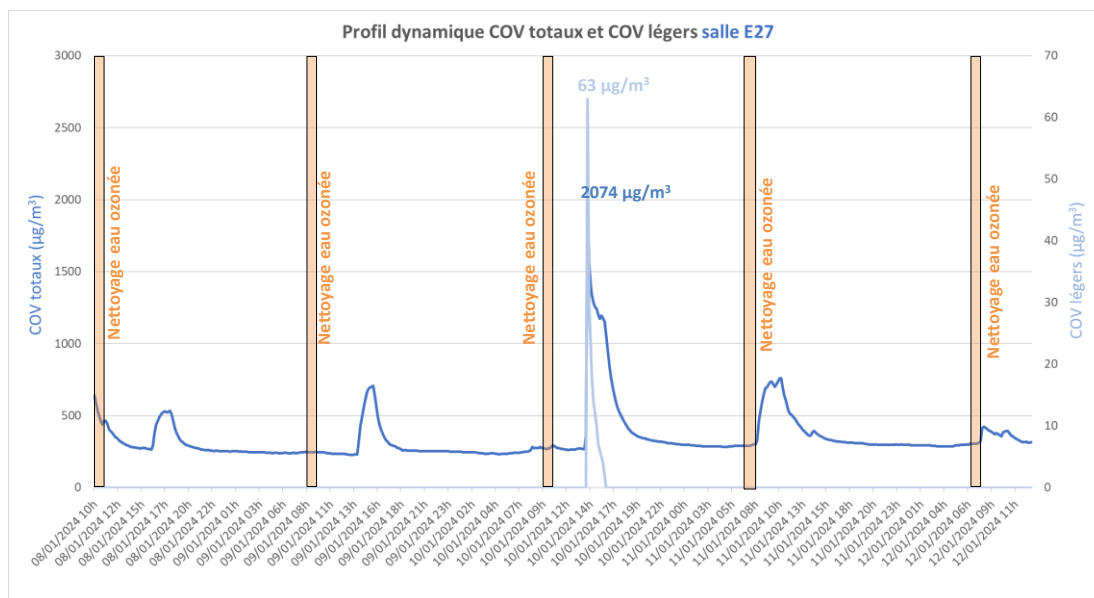


Le suivi dynamique des COV a été réalisé, à titre exploratoire, par l'intermédiaire de la balise Fireflies®, installée dans le local où l'eau ozonée est fabriquée. **Les niveaux de COV Totaux (courbe vert foncé), sont considérés comme faibles et les niveaux de COV Légers (courbe vert clair) sont considérés comme très faibles.** La concentration moyenne en COV Totaux sur cette campagne est de $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec un pic maximal de $273 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 08/01 à 10h, pic correspondant à l'installation de l'appareil. Pour les COV Légers, la concentration moyenne est de $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec un pic maximal de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 10/01 à 23h30 (source non identifiée). Les interventions de génération d'eau ozonée indiquées par l'agent d'entretien sont représentées sur le graphique (en orange). **La génération de l'eau ozonée ne semble pas avoir d'impact significatif sur les concentrations en COV totaux et légers mesurées dans la pièce.**



Les niveaux de COV Totaux (courbe violette foncée) et les niveaux de COV Légers (courbe violette claire) sont considérés comme faibles et modérés. La concentration moyenne en COV Totaux dans la salle E37 sur cette campagne est de 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec un pic maximal de 269 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 08/01 à 10h, pic correspondant à l'installation de l'appareil. Pour les COV Légers, la concentration moyenne est de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec un pic maximal de 111 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 09/01 à 17h50, un deuxième pic à 102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ est identifié le 12/01 à 10h20 (les sources n'ont pas été identifiées). Les interventions de nettoyage à l'eau ozonée indiquées par l'agent d'entretien sont représentées sur le graphique (en orange).

Le nettoyage à l'eau ozonée ne semble pas avoir d'impact significatif sur les concentrations en COV totaux et légers mesurées dans la pièce E37.



Les niveaux de COV Totaux (courbe bleu foncée) et les niveaux de COV Légers (courbe bleu claire) sont considérés comme modérés et faibles. La concentration moyenne en COV Totaux dans la salle E27 sur cette campagne est de 346 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec un pic maximal de 2074 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 10/01 à 14h10. De légères augmentations en COV totaux sont constatées tous les jours en période d'occupation (potentielles sources liées aux activités scolaires). Pour les COV Légers, la concentration moyenne est très faible égale à 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec un pic maximal de 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ le 10/01 à 14h10 (source non identifiée). Les interventions de nettoyage à l'eau ozonée indiquées par l'agent d'entretien sont représentées sur le graphique (en orange). Le nettoyage à l'eau ozonée ne semble pas avoir d'impact significatif sur les concentrations en COV totaux et légers mesurées dans la pièce E27.

→ Le dioxyde d'azote



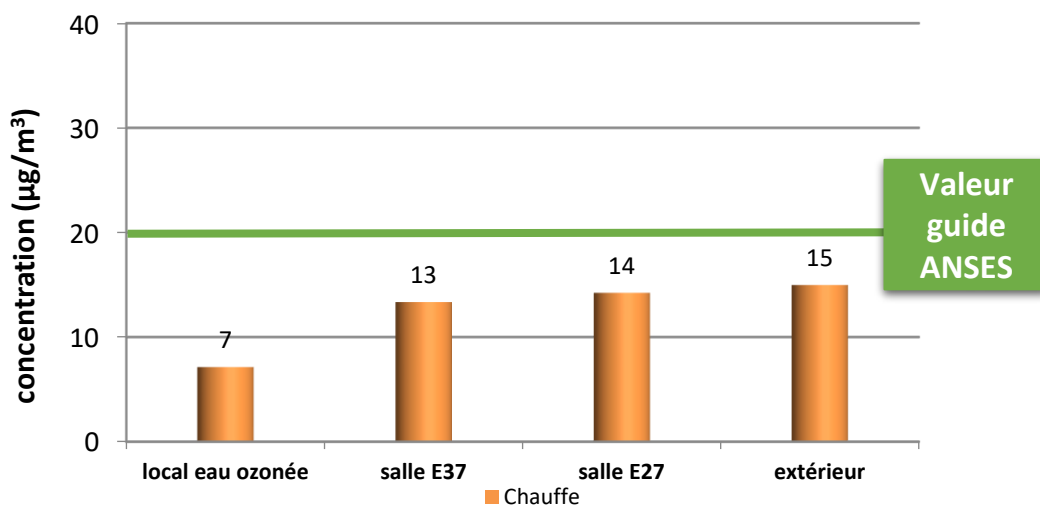
Formation par oxydation dans l'air du diazote N_2 , lui-même émis lors de la combustion de combustibles de tous types (gazole, essence, charbons, fiouls, gaz naturel...) : trafic routier, installations de chauffage, centrales thermiques et usines d'incinération (air ambiant) ; cuisinières à gaz, chaudières, chauffe-eau, mais également tabagisme (air intérieur). Irritant pour les bronches, le NO_2 augmente la fréquence et la gravité des crises d'asthme et favorise les infections pulmonaires.

Dans cette étude le NO_2 est étudiée en raison de l'utilisation de l'eau ozonée par les agents d'entretien. **L'objectif est de surveiller le potentiel dégagement de NO_2 liée à l'utilisation d'eau ozonée** (recombinaison des molécules d' ozone avec l'air intérieur pouvant former du NO_2).



Valeur guide indicative ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) : **$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$** depuis 2013.

Concentrations en NO_2



Les concentrations en dioxyde d'azote mesurées à l'aide des tubes passifs sont inférieures à la valeur guide annuelle indicative ANSES de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette comparaison est donnée uniquement à titre informatif car une seule phase de mesure a été réalisée : en période de chauffe. La concentration retrouvée à l'extérieur est similaire aux concentrations mesurées dans les salles de cours suggérant un transfert de la pollution de l'extérieur vers l'intérieur (trafic routier à proximité). La concentration mesurée dans le local de ménage où l'eau ozonée est générée, est inférieure à celles mesurées dans les salles de cours. En effet, le local est placé au niveau inférieur de l'établissement (pas de fenêtres) et donc moins exposé aux polluants extérieurs. Par conséquent, les taux retrouvés en NO_2 semblent indiquer que la pollution provient plutôt du milieu extérieur et non d'une activité réalisée à l'intérieur de l'établissement telle que le ménage à l'eau ozonée.



L'ozone : O₃



L'ozone est un composé qui est rarement mesurée en air intérieur. C'est un polluant secondaire typiquement mesuré en air extérieur et qui se forme à partir des réactions chimiques entre différents polluants comme les oxydes d'azotes et les hydrocarbures sous l'influence des rayonnements ultra-violet du soleil.

Néanmoins dans cette étude, la mesure de l'ozone est étudiée dans chaque pièce en raison de l'utilisation de l'eau ozonée par les agents d'entretien. L'INRS a en effet évoqué dans son communiqué du 14/09/23, la possibilité d'exposition de ce gaz nocif (O₃) ou autres substances formées (NO₂ et COV) lors du procédé de génération de l'eau ozonée.

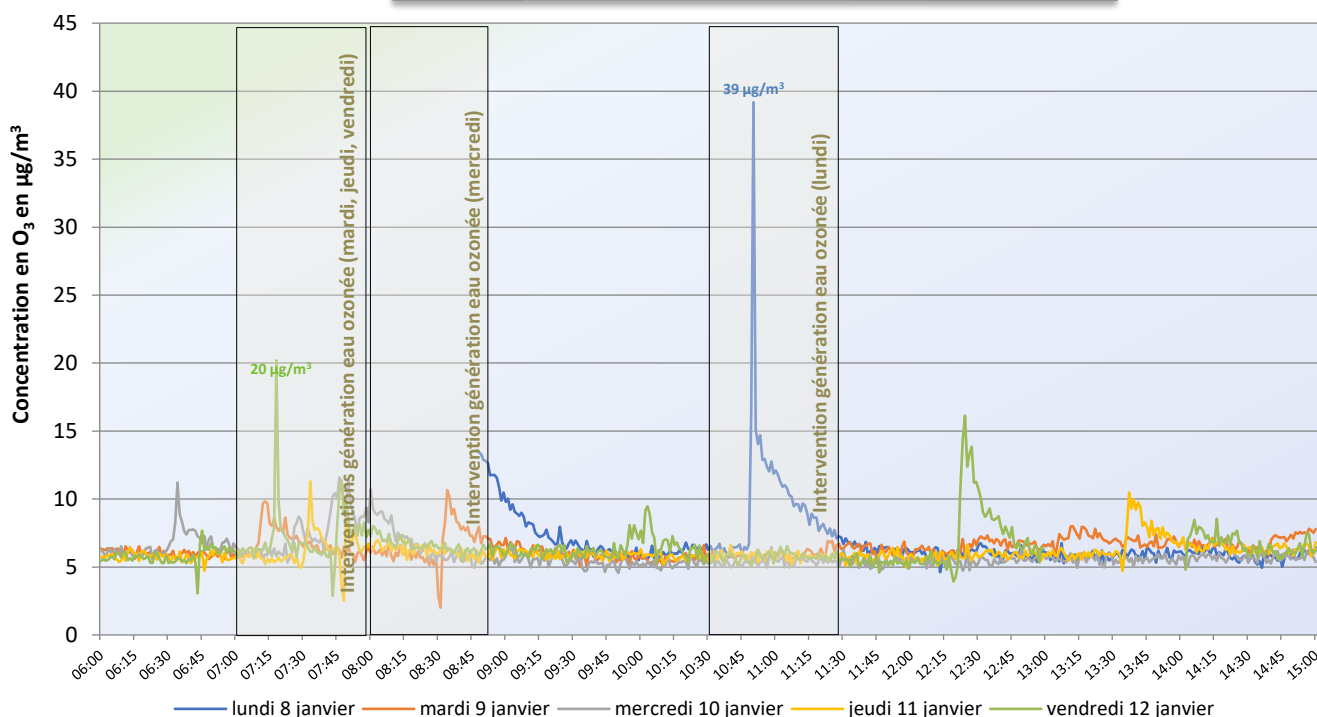
L'ozone dispose de propositions de valeurs de gestion provisoires¹ en air intérieur établies par l'INVS (Institut de Veille Sanitaire) : soit 110 µg/m³ en moyenne sur 8 heures (si mesure extérieur < 110 µg/m³) et 240 µg/m³ pour la valeur d'action immédiate (maximum horaire sur 3 heures consécutives) en air intérieur.

L'ozone dispose en air extérieur d'une valeur limite en moyenne horaire égale à 180 µg/m³.



Suivi dynamique O₃ – local génération eau ozonée

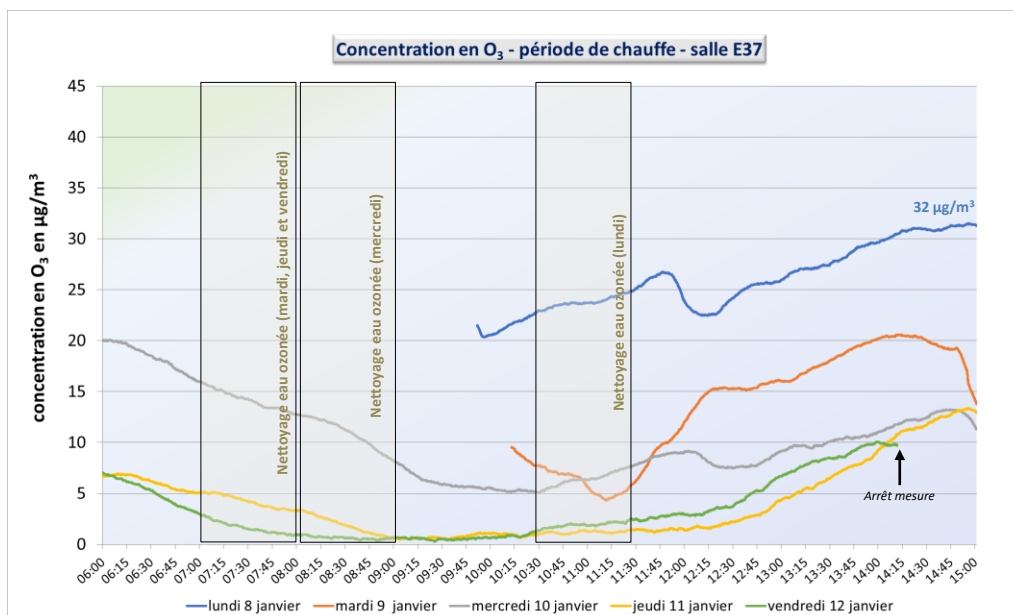
Concentration en O₃ - période de chauffe - local génération eau ozonée



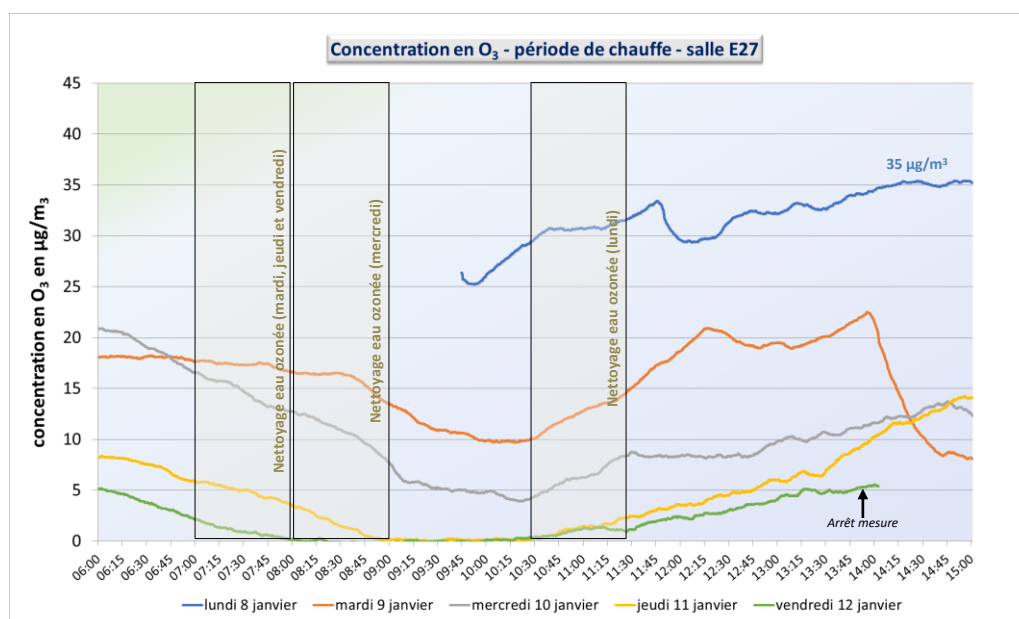
La plupart des pics d'ozone ont été identifiés sur la plage horaire de 6h à 15h, la concentration en O₃ est donc représentée pour cette plage horaire sur le graphique ci-dessus, ainsi que les plages horaires d'intervention indiqués par l'agent d'entretien. **Les concentrations en O₃, mesurées toutes les minutes pour plus de précision, sont très faibles.** On constate quelques faibles pics en ozone liés à la génération d'eau ozonée. La concentration maximale relevée sur une minute est mesurée le lundi 8 janvier à 10h50 est égale à 39 µg/m³ correspondant à la génération d'eau ozonée dans la pièce. Cette valeur maximale prise sur une minute est nettement inférieure la valeur limite moyenne horaire (air extérieur) fixée à 180 µg/m³, de ce fait statistiquement l'ensemble des valeurs mesurées dans le local sont inférieures à cette limite.

¹ Gestion de la qualité de l'air intérieur – établissement recevant du public- guide pratique – Institut de Veille Sanitaire - août 2010.

➔ Suivi dynamique O₃ – salle E37 et salle E27

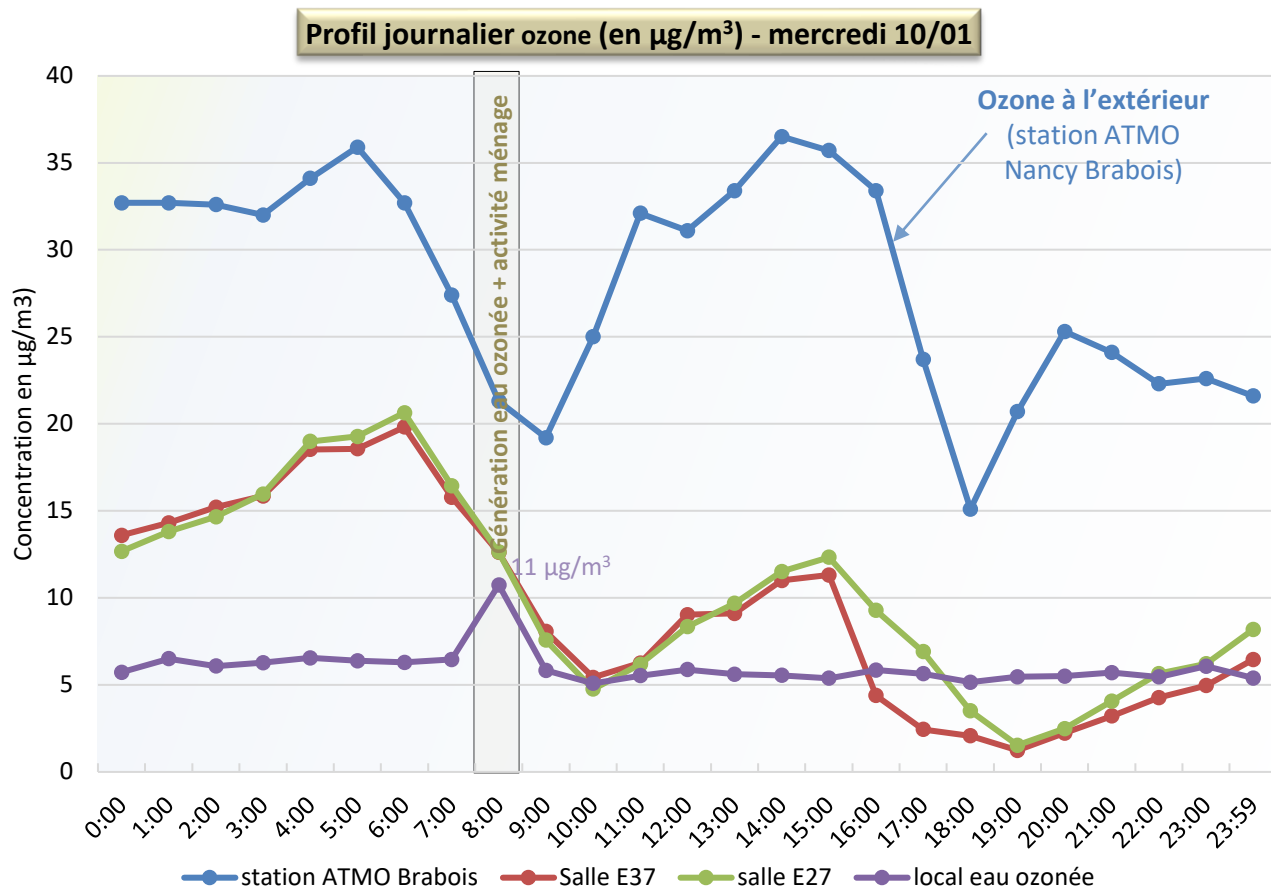


*Le manque de données pour le 09/01 de 6h00 à 9h45 est liée à une interruption de mesure (arrêt de l'appareil par un professeur)



La concentration en O₃ est représentée uniquement sur la plage horaire de 6h à 15h afin de visualiser les plages de nettoyage des salles à l'eau ozonée. **Les concentrations en O₃, mesurées toutes les minutes pour plus de précision, sont très faibles.** Les profils de concentration en ozone des deux salles de cours sont similaires. **Les taux en O₃ ne semblent pas être influencés par les interventions de nettoyage au sein des classes.** Dans la salle E37, la concentration maximale relevée sur une minute (le 08/01 vers 14h50) est de 32 µg/m³. Dans la salle E27 la concentration maximale sur une minute est également relevée ce même jour le 08/01 vers 14h50 avec 35 µg/m³. Ces valeurs maximales prises sur une minute sont nettement inférieures la valeur limite moyenne horaire (air extérieur) fixée à 180 µg/m³, de ce fait statistiquement l'ensemble des valeurs mesurées dans ces salles sont inférieures à cette limite.

➔ **Exemple : profil journalier O₃ du mercredi 10 janvier**



Le **profil journalier** du 10/01/24 a été tracé pour exemple. En parallèle a été ajouté, pour comparatif, les concentrations en ozone mesurées **en extérieur sur la station d'ATMO Nancy Brabois**, correspondant à la station fixe la plus proche de l'université.

On peut remarquer que les concentrations mesurées à l'extérieur sont bien plus élevées qu'à l'intérieur de l'établissement.

On peut constater que **le pic maximal en ozone mesuré au niveau du local de ménage (soit 11 µg/m³) correspond au moment où l'eau ozonée est générée**. Hormis ce pic, on constate que les concentrations dans ce local sont relativement stables sur la journée et ne sont pas influencés par les variations à l'extérieur.

Pour les salles de cours E37 et E27, les activités de ménage (de 8h à 9h) n'ont pas d'influence sur les concentrations relevées en ozone. **Les concentrations mesurées dans ces salles suivent la même dynamique que la concentration mesurée à l'extérieur sur la station Nancy Brabois**. On peut donc suggérer qu'il y a un transfert d'ozone du milieu extérieur vers l'intérieur.

→ CONCLUSIONS

Une étude sur la qualité de l'air intérieur a été réalisée dans le cadre de l'utilisation d'eau ozonée en tant que produit de nettoyage au sein de l'Université de Lorraine à Vandœuvre-lès-Nancy. L'objectif est de mesurer l'impact de l'utilisation de cette eau ozonée sur la qualité de l'air intérieur de l'établissement. Cette démarche résulte de la mise en garde de l'INRS (communiqué en septembre 2023) contre les équipements utilisant l'eau ozonée pour les opérations de nettoyage et de désinfection relatant des effets sur la santé des travailleurs exposés.

Cette étude a permis de mettre en évidence les éléments suivants :

- **Des valeurs insatisfaisantes pour les paramètres de confort**, qui positionnent les salles de classe dans la zone de sécheresse, en raison du faible taux d'humidité relative et des faibles températures mesurées.
- **Des valeurs satisfaisantes pour l'indicateur de renouvellement d'air qu'est le dioxyde de carbone (CO₂)** dans les deux salles de cours E37 et E27.
- **Des concentrations faibles en formaldéhyde**, inférieures à la valeurs guide en air intérieur fixée à 30 µg/m³ (comparaison présentée à titre indicatif car une seule phase de mesure a été réalisée), et également inférieures à la valeur limite fixée à 100 µg/m³. Les concentrations de formaldéhyde, d'hexaldéhyde et d'acétaldéhyde sont inférieures à celles habituellement rencontrées en air intérieur (comparaison avec la campagne écoles de l'OQAI).
- **Des concentrations en benzène faibles**, inférieures d'une part à la valeur guide fixée en air intérieur à 2 µg/m³ (comparaison rappelons présentée à titre indicatif comme pour le formaldéhyde) et d'autre part à la valeur limite de 10 µg/m³. La concentration extérieure est largement inférieure à la valeur limite fixée à 5 µg/m³. Le benzène retrouvé dans les salles semble être majoritairement issu du transfert de l'extérieur vers l'intérieur.
- **La présence de composés organiques volatiles (COV) en concentrations faibles voire très faibles** : on retrouve principalement des composés de la famille des alcanes , des alcools, des esters et des éthers de glycols qui ont pour principal source les matériaux et l'ameublement. On retrouve également d'autres hydrocarbures aromatiques (BTEX) liés à l'environnement extérieur (trafic routier à proximité).
- **Des concentrations en ozone faibles** : les concentrations en ozone sont en dessous des valeurs proposées en air intérieur. Quelques pics sont observés dans le local de ménage au moment des interventions de ménage mais les concentrations restent largement en dessous des seuils préconisés et la valeur limite air extérieur en moyenne horaire fixé à 180 µg/m³. Concernant les salles de cours, aucun lien ne peut être établi entre les activités de ménage et les concentrations en ozone mesurées.
- **Des niveaux de COV totaux et légers faibles** : la quantification dynamique de ces composés organiques est considérée dans l'ensemble comme faibles voire très faible dans toutes les salles investiguées. De légers pics sont identifiés sans qu'un lien avec une activité quelconque telle que le ménage puisse être établie.

Au vu des résultats observés, nous avons pu constater que la génération d'ozone entraînait la libération dans l'air de faibles quantités d'ozone dont les concentrations sont inférieures aux limites fixées en air extérieur et aux valeurs préconisées en air intérieur. Quant aux concentrations en ozone dans les salles de cours , elles sont étroitement liées aux concentrations mesurées en extérieur (station fixe ATMO Nancy Brabois), les activités de ménage ne semblent pas avoir d'influence sur les taux mesurés. Par ailleurs, dans les salles de cours nous n'avons pas identifié à ce stade la formation de polluants secondaires produits (formaldéhyde, NO₂, COV) en lien avec son utilisation. Dans le local de ménage, nous avons peut-être identifiée en faible quantité la formation de formaldéhyde néanmoins la concentration relevée dans le local reste largement à titre indicatif en dessous de la valeur guide en air intérieur.

Résultats des COV tubes passifs par pièce (concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – période hors chauffe

Composés	Local génération eau ozonée	Salle E37	Salle E27	Extérieur
1-méthoxy-2-propanol	<LQ*	<LQ*	<LQ*	<LQ*
Dodécaméthyl-cyclohexasiloxane	<LQ*	<LQ*	<LQ*	<LQ*
n-Propyl acétate	<LQ*	0,25	<LQ*	<LQ*
Naphtalène	<LQ*	<LQ*	0,03	<LQ*
Tétrachloroéthylène	0,03	0,03	0,03	0,03
Cyclopentane	0,03	0,03	0,03	0,06
Décaméthyl-cyclopentasiloxane	0,04	0,09	0,04	<LQ*
Ethanol	0,05	0,28	0,03	0,08
1-Butanol	0,09	<LQ*	0,03	<LQ*
Styrène	0,12	0,08	0,09	0,04
2-éthyl-1-hexanol,	0,12	0,05	0,08	<LQ*
Alcool isopropylique	0,12	0,39	0,08	0,19
1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-éthane	0,12	0,16	0,17	0,25
Méthyl-cyclopentane	0,12	0,13	0,13	0,16
Ethylbenzène	0,15	0,14	0,14	0,11
o-Xylène	0,16	0,15	0,15	0,13
2,2,3-triméthyl-pentane	0,16	0,16	0,17	0,23
Limonène	0,17	<LQ*	<LQ*	<LQ*
Benzaldéhyde	0,17	0,12	0,18	0,03
2-Butanone	0,2	0,17	0,18	0,19
3-méthyl-Hexane	0,24	0,26	0,24	0,32
Acétone	0,27	0,48	0,24	0,27
Hexane	0,31	0,29	0,3	0,36
1,3-Pentadiène	0,34	0,36	0,27	0,03
Heptane	0,35	0,15	0,23	0,14
Pentane	0,36	0,40	0,39	0,46
m+p-Xylène	0,37	0,33	0,35	0,29
Trichloroéthylène	0,37	<LQ*	<LQ*	<LQ*
2-méthyl-pentane	0,38	0,35	0,35	0,43
2-méthyl-butane	0,42	0,49	0,5	0,85
Tétradécane	0,42	0,52	0,86	0,06
Octaméthyl-cyclotetrasiloxane	0,47	0,02	<LQ*	<LQ*
Acétate d'éthyle	0,49	0,36	0,4	0,47
Hexaméthyl-cyclotrisiloxane	0,54	0,03	0,03	0,04
Toluène	0,64	0,67	0,67	0,85
Benzène	1,1	1,2	1,2	1,3
Méthyl-cyclohexane	2,2	0,13	0,94	0,1

<LQ* : concentration inférieure à la limite de quantification

Résultats des COV tubes actifs par pièce (concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) – période hors chauffe

Composés	Local génération eau ozonée	Salle E37	Salle E27
Naphtalène	<LQ*	<LQ*	<LQ*
o-Xylène	0,3	<LQ*	0,3
Styrène	0,25	0,33	0,29
Ethylbenzène	0,4	0,5	0,6
Hexane	0,5	0,6	0,8
Trichloroéthylène	0,6	0,1	0,1
m+p-Xylène	0,7	0,4	0,9
Benzaldéhyde	1,0	1,2	1,0
Toluène	1,1	0,7	1,6
Ethanol	1,3	3,4	3,2
Dodécaméthyl-cyclohexasiloxane	1,5	<LQ*	<LQ*
Limonène	1,6	0,3	0,3
Benzène	1,6	1,4	1,4
Acétone	1,6	1,9	3,2
1-Butanol	2,2	3,6	3,7
2-éthyl-1-hexanol	2,2	0,4	0,7
Héxaméthyl-cyclotrisiloxane	3,0	0,5	0,5
2-méthyl-butane	6,7	12,6	12,2
Alcool isopropylique	7,9	17,4	14,9
Octaméthyl-cyclotétrasiloxane	8,2	0,3	<LQ*
1-méthoxy-2-propanol	8,7	27,9	19,3
Décaméthyl-cyclopentasiloxane	11,3	1,9	3,3
Cyclopentane	13,0	25,0	20,5

<LQ* : concentration inférieure à la limite de quantification



Air • Climat • Energie • Santé

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03 88 19 26 66 - Fax : 03 88 19 26 67 - contact@atmo-grandest.eu

Siret 822 734 307 000 17 – APE 7120 B

Association agréée de surveillance de la qualité de l'air