

Webinaire du 18 décembre 2025

QAI en établissements scolaires : comment progresser ? – Les solutions de ventilation adaptées au bâti scolaire

Intervenants :

Antoine Flahault : épidémiologiste, professeur de santé publique, introduction et mises en perspective sanitaires.

Valérie Leprince : ingénierie au CEREMA, experte en ventilation et qualité de l'air intérieur – intervenante principale.

Louis Lebrun : animateur du webinaire, modération des échanges.

Élisa Zeno : co-organisation, animation du chat et des questions.

Introduction

Ce webinaire s'inscrit dans la continuité des travaux et échanges engagés lors de la conférence européenne organisée sous l'égide de l'OMS au Sénat en juin 2025 et fait suite au 1^{er} [webinaire « La Qualité de l'air intérieur dans les écoles : quelle stratégie pour mobiliser les décideurs ? »](#), du 14 octobre 2025. Il vise à approfondir la question de l'amélioration de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les établissements scolaires, en se concentrant plus particulièrement sur les solutions de ventilation adaptées au bâti existant et neuf.

L'objectif est double : apporter un éclairage technique et pragmatique sur les solutions disponibles ; discuter des freins réglementaires, économiques, énergétiques et organisationnels à une généralisation de la ventilation performante dans les écoles.

Antoine Flahault rappelle que les écoles jouent un rôle central dans la transmission des virus respiratoires, en raison de la forte densité d'occupation et de la durée d'exposition prolongée. Il souligne que l'amélioration de la qualité de l'air est nécessaire mais la ventilation souvent mal comprise, réduite à l'ouverture des fenêtres, et que ce webinaire doit permettre de clarifier les notions et les options.

Il pose plusieurs questions structurantes, notamment si l'amélioration de la QAI est techniquement faisable à grande échelle, économiquement soutenable pour les collectivités, avec des solutions relativement simples et quel est son impact énergétique et carbone.

Interventions

Valérie Leprince, *Directrice de projet Qualité de l'environnement intérieur et ventilation, Cerema, est ingénier diplômée de l'ENTPE et docteur en génie civil. Elle est experte de la ventilation des bâtiments, de l'étanchéité à l'air et de la qualité de l'environnement intérieur. Actuellement directrice de projet "qualité de l'environnement intérieur et ventilation" au Cerema (un bureau d'études public), où elle dirige des groupes de travail nationaux et européens afin d'assurer la cohérence entre les normes, les réglementations et les derniers résultats de la recherche. Elle participe à plusieurs organisations, dont le CEN/TC 156, l'ISO TC 205, l'ASHRAE Epidemic Task Force et les groupes de travail ministériels sur la ventilation.*

Valérie Leprince précise d'abord la **distinction fondamentale entre aération et ventilation**, l'aération reposant sur l'ouverture ponctuelle des fenêtres, et étant dépendante du comportement humain, sans contrôle des débits, et cause parfois d'inconfort thermique et acoustique, alors que la ventilation est réalisée par un système dédié, dimensionné pour renouveler l'air au bon moment, en quantité suffisante et maîtrisée, sans inconfort. Un système de ventilation doit pouvoir fonctionner en continu, y compris en hiver, sans courants d'air ni nuisances sonores, ce qui est techniquement possible si le dimensionnement est correct. Ensuite Valérie Leprince aborde l'aspect de la maîtrise énergétique et de la récupération de chaleur, en précisant que, contrairement à une idée répandue, la ventilation performante n'est pas nécessairement énergivore. **Les systèmes de ventilation double flux avec récupération de chaleur permettent de récupérer jusqu'à 80 % de la chaleur de l'air** extrait, limitant fortement les pertes énergétiques. Ainsi, de forts débits de renouvellement d'air peuvent être assurés sans augmenter fortement la consommation énergétique, ce qui est un point central dans le contexte actuel de sobriété.

Concernant **les systèmes de ventilation, deux grandes familles** de solutions sont distinguées :

- **Ventilation mécanique :**
 - débits maîtrisés indépendamment des conditions climatiques ;
 - facilité de dimensionnement ;
 - possibilité de filtration efficace.
- **Ventilation naturelle :**
 - basée sur le tirage thermique et le vent ;
 - techniquement possible mais complexe à dimensionner ;
 - rendements de récupération de chaleur plus faibles ($\approx 50\%$) ;
 - nécessite de grandes cheminées et une conception très fine.

L'exemple de la commune de Rosny-sous-Bois est cité, mais cette solution reste difficilement généralisable, notamment en rénovation.

Ensuite, Valérie Leprince aborde la problématique centrale des **débits réglementaires** pour la ventilation. La France se caractérise par une réglementation obsolète et incohérente :

- Le Règlement Sanitaire Départemental Type (RSdT), datant de 1979, impose $15 \text{ m}^3/\text{h}$ par enfant, soit l'un des débits les plus faibles d'Europe.
- Le Code du travail impose $30 \text{ m}^3/\text{h}$ par adulte (enseignants, ATSEM).

Cette coexistence de référentiels conduit à des situations absurdes dans des locaux mixtes. Le faible niveau des débits historiques s'explique par l'absence, à l'époque, de prise en compte des aérosols infectieux, du confort olfactif et de l'impact du confinement de l'air sur les performances cognitives. Valérie Leprince **souligne le manque de guides nationaux clairs pour dimensionner les systèmes de ventilation des salles de classe**, pourtant très spécifiques (forte densité, mobilité des occupants, nécessité de fournir un très gros débit pour un volume relativement petit).

Concernant les **typologies de systèmes de ventilation** en rénovation, deux solutions principales sont présentées :

- Ventilation double flux centralisée :
 - une centrale unique (souvent en toiture, doit être bien dimensionnée pour ne pas être bruyante) ;
 - réseaux de gaines desservant toutes les classes ;
 - coût $\approx 5\,000 \text{ €}$ par classe ;
 - nécessite une rénovation globale.

- Ventilation double flux décentralisée (par classe) :
 - un système autonome par salle ;
 - un percement en façade pour l'air neuf et l'air extrait ;
 - coût \approx 8 000 à 10 000 € par classe ;
 - permet une rénovation progressive, bâtiment par bâtiment.

L'inconvénient principal de la solution décentralisée réside dans la maintenance démultipliée (filtres à changer dans chaque classe, éventuellement par un technicien municipal). De plus, lorsqu'on démultiplie les systèmes, le coût global est plus élevé qu'en adoptant un seul et unique système centralisé. Ce dernier cependant impose évidemment une rénovation de l'ensemble du bâtiment, alors que les systèmes décentralisés permettent d'intervenir progressivement.

La ventilation mécanique a également l'avantage de permettre l'installation de **filtres efficaces** (particules fines, pollens), rendant l'air intérieur plus sain que l'air extérieur. C'est un avantage majeur par rapport à l'aération par ouverture des fenêtres ou à la ventilation naturelle.

Pour finir, les coûts de **la maintenance**, indispensable pour garantir le fonctionnement correct et économique, proviennent principalement des **filtres** :

- systèmes décentralisés : \approx 25–30 € par classe et par an, changement simple
- Centrales : coût plus élevé (ordre de grandeur estimé à quelques centaines d'euros), mais maintenance centralisée.

La maintenance est un point clés car de nombreux systèmes sont mal réglés ou non fonctionnels et certains sont tout simplement éteints. La Directive européenne 2024/1275 du Parlement européen et du Conseil du 24 avril 2024 prévoit l'obligation d'inspections périodiques (tous les 3 à 5 ans), mais elle n'a pas encore été transposée en droit français. Cette transposition est attendue comme un levier majeur d'amélioration.

Discussion

Les échanges portent sur les **couloirs, escaliers, cantines, salles de sport et espaces d'attente**, et il est fait remarquer que dans les couloirs, escaliers la durée d'exposition y est généralement plus courte que dans les classes, ce qui réduit le risque (cependant le brassage est très important). Les réfectoires nécessitent en revanche une ventilation équivalente aux salles de classe, adaptée aux périodes d'occupation. L'accent est aussi mis sur l'utilité des stratégies combinant ventilation des classes et ouverture des portes pour contribuer à améliorer l'air des circulations.

Au sujet des **purificateurs d'air mobiles et du traitement par UV-C** :

- Purificateurs à filtres mécaniques (HEPA) :
 - pertinents en complément de la ventilation, notamment en période épidémique ;
 - efficaces sur les aérosols infectieux.
- Technologies UV (UVC) :
 - principe efficace en théorie ;
 - mais absence de normes de test robustes et inquiétudes sur les sous-produits (ozone) ;
 - recommandation prudente à ce stade.

Pour finir, concernant l' **impact carbone de la ventilation**, il est précisé que d'une part il ne doit pas servir de prétexte à l'inaction (le chauffage aussi a un impact C mais ce n'est pas pour autant qu'il n'est pas prévu), d'autre part son impact principal se situe dans la phase

de fabrication et d'installation, plus que dans l'exploitation. De plus, les **industriels de la ventilation travaillent sur l'empreinte carbone** de leurs produits, par exemple en travaillant sur les matériaux de réemploi, notamment pour faire les gaines de ventilation, suite aux différentes directives européennes visant à imposer des systèmes qui consomment le moins possible et qui sont le plus économiques possibles. Cependant, les normes d'impact carbone des systèmes de ventilation là sont encore en développement, nous cumulons un peu de retard au niveau européen sur ce point.

Concernant **les coûts**, la récupération de chaleur permet même des économies nettes par rapport à l'aération manuelle. Des travaux montrent un gain de 6 à 7 € par élève et par an par rapport à une aération classique, et un différentiel de plus de 10 € par élève et par an par rapport aux protocoles d'aération renforcée type COVID.

Sans être une solution de climatisation, la ventilation double flux peut aider à conserver la fraîcheur nocturne et améliorer l'efficacité d'un système de climatisation existant.

Cependant, elle ne peut compenser les apports internes élevés ($\approx 3 \text{ kW}$ pour une classe de 30 élèves).

Une précision est apportée sur les systèmes évoqués, qui sont adaptés pour le climat de la France métropolitaine, où le chauffage hivernal est un enjeu central. Ils ne sont pas transposables tels quels aux climats tropicaux ou extrêmes (ex. Guyane, outre-mer), où les besoins relèvent davantage de la déshumidification, de la climatisation et du renouvellement d'air, et où la ventilation double flux avec récupération de chaleur n'est pas nécessairement pertinente. L'intervenante souligne ainsi l'importance **d'adapter les solutions de ventilation aux contextes climatiques locaux**, sans approche universelle.

Les **capteurs de CO₂** sont un excellent moyen pour vérifier le bon dimensionnement et fonctionnement de la ventilation dans les locaux densément occupés, ainsi qu'un traceur du renouvellement d'air. Ils sont insuffisants seuls pour caractériser l'ensemble de la QAI, mais très pertinents pour piloter les débits.

Concernant les **retours d'expérience internationaux**, Valérie Leprince souligne qu'aux États-Unis, une politique nationale ambitieuse a été lancée après le Covid, pour améliorer la ventilation des salles de classe, avec des financements publics, des appels à projets et l'installation massive de systèmes de ventilation mécanique, notamment en Californie. Cette transition a été facilitée par le fait que les bâtiments américains sont largement chauffés et climatisés par l'air, rendant l'intégration de ces systèmes plus simple qu'en France. Les impacts sanitaires ne sont pas encore pleinement documentés, car les dispositifs sont récents, mais des organismes de recherche comme le Lawrence Berkeley National Laboratory (Université de Californie – Berkeley) suivent ces programmes en mesurant la qualité de l'air, les performances cognitives, la propagation des maladies et l'absentéisme. Les résultats sont attendus dans les prochaines années et pourraient fournir des preuves solides de l'impact des améliorations de ventilation en milieu scolaire. En Europe, il n'existe pas à notre connaissance de programme massif et structuré de rénovation de la ventilation des écoles comparable à ce qui a été engagé aux États-Unis. Les pays nordiques sont en avance historiquement, la Belgique constitue un exemple partiel, avec des efforts accrus de mesure et de suivi de la qualité de l'air intérieur afin d'orienter des politiques publiques, mais sans stratégie de rénovation à grande échelle. **Dans de nombreux pays européens, la situation est différente de celle de la France : la ventilation est obligatoire depuis les années 1980 dans les bâtiments tertiaires, ce qui a permis une intégration progressive**

des systèmes et une montée en compétence des acteurs. À l'inverse, la France a rendu la ventilation obligatoire d'abord dans le logement (années 2000–2010), sans l'imposer clairement dans le tertiaire, ce qui explique un retard structurel et des besoins de rénovation aujourd'hui plus importants. Cette avance historique des autres pays réduit mécaniquement leur nécessité de programmes de rattrapage massifs, mais aucun pays européen n'aurait, à ce jour, engagé une rénovation systématique de la ventilation des écoles à l'échelle nationale.

Revenant à la **transposition de la directive européenne**, Valérie Leprince souligne que la transposition en droit français de la directive européenne DPEB 2024 est une opportunité importante, qui implique une évolution substantielle des pratiques actuelles. Elle insiste sur la nécessité d'un **cadre réglementaire cohérent**, porté conjointement par les pouvoirs publics et la société civile, reposant sur des **indicateurs clairs et opérationnels** de qualité de l'air intérieur, permettant de définir explicitement ce qui est acceptable ou non. Ces indicateurs doivent être strictement alignés avec les débits de ventilation réglementaires, afin d'**éviter toute incohérence technique entre objectifs affichés** (par exemple des débits à fournir insuffisants pour atteindre les seuils de CO₂ recommandés) **et moyens imposés**. La transposition devrait ainsi traiter la QAI de manière globale, en précisant à la fois les niveaux de qualité attendus sur le terrain et les règles de conception des systèmes pour les atteindre. L'intervenante plaide pour une **approche graduée**, inspirée de la norme EN 16798-1, distinguant un niveau minimal obligatoire applicable à l'ensemble du parc existant, des niveaux plus exigeants pour la rénovation, la construction neuve, et les bâtiments accueillant des publics sensibles (établissements scolaires, de soins, EPADH,...), afin d'adapter les exigences aux réalités du bâti tout en anticipant un renforcement progressif des standards sanitaires.

En conclusion, l'intervenante a souhaité insister sur l'importance de ne pas faire porter aux enseignants la responsabilité individuelle de la qualité de l'air intérieur, mais de l'assurer par des **systèmes techniques fiables et contrôlés**.

Objet

Amélioration de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les établissements scolaires – solutions de ventilation adaptées au bâti existant et neuf.

Constats clés

- Forte densité et durée d'occupation des salles de classe, transmission de maladies aéroportées → enjeu sanitaire majeur.
- Réglementation française obsolète et incohérente (15 m³/h/enfant vs 30 m³/h/adulte).

Solutions techniques disponibles

- Ventilation naturelle, plus complexe
- Ventilation mécanique
 - A double flux avec récupération de chaleur (jusqu'à 80 %).
 - Deux modèles :
 - centralisée (≈ 5 000 € / classe) ;
 - décentralisée par classe (≈ 8 000–10 000 € / classe).
 - Possibilité d'installer des filtres pour l'air entrant (particules fines, pollens).

Coûts et exploitation

- Maintenance maîtrisée (filtres ≈ 25–30 € / classe / an en décentralisé).
- Gains énergétiques par rapport à l'aération manuelle.
- Impact carbone réel mais maîtrisable, principalement lié à la phase d'installation.

Espaces à traiter

- Priorité aux salles de classe, cantines, dortoirs, gymnases (durée d'exposition).
- Circulations : stratégies complémentaires possibles.

Outils de pilotage

- Capteurs de CO₂ : indicateur simple et pertinent pour ajuster les débits.
- Purificateurs mobiles à filtres HEPA : complément utile.
- Prudence sur les technologies UV (manque de normes).

Enjeux réglementaires

- Transposition de la directive européenne (inspection obligatoire).
- Nécessité de refonte des textes et d'harmonisation des exigences.
- Approche recommandée par niveaux de qualité (EN 16798-1).

Messages clés pour décideurs

- Les solutions existent, sont techniquement maîtrisées et financiables.
- L'empreinte carbone ne doit pas être un frein à l'action.
- La responsabilité de la QAI doit être collective et institutionnelle, non individuelle.