

IMPACT DE LA QAI DANS LES ÉCOLES SUR LES CAPACITÉS COGNITIVES DES ÉLÈVES

Nolwenn Hurel (Cerema)

30 Septembre 2025

Contexte - Spécificité des écoles

- Les enfants plus vulnérables à la pollution
 - Immaturité des systèmes respiratoire, immunologique, reproductif, nerveux et digestif
 - Besoins métaboliques plus élevés: inhalent plus d'air par rapport à leur masse
 - Asthme: maladie chronique la plus répandue chez les enfants
- Les salles de classe, des lieux spécifiques
 - Densité de personne 4-5 fois > bureaux (environ 2 m²/personne)
 - Beaucoup de bâtiments assez agés, moyens limités pour entretien
 - Pas/peu de ventilation : 85% des écoles françaises sans VMC
 - Renouvellement d'air par l'ouverture des fenêtres (peu pratiqué)
 - Polluants spécifiques (matériel et mobilier scolaire)



Credit: SYSCO/SIPA

Contexte – Impact global de la QAI dans les écoles

- **Trois effets principaux :**
 - **Confort** (air perçu, odeurs, fraîcheur, sécheresse, clarté de pensée)
 - **Santé** (syndrome du bâtiment malsain, asthme, bronchite, allergies, irritations, fatigue, céphalées)
→ absentéisme
 - **Performance** (impact cognitif direct + indirect via santé et confort)



© Monkey Business / Fotolia.com

Contexte – Impact global de la QAI dans les écoles

- **Trois effets principaux :**
 - **Confort** (air perçu, odeurs, fraîcheur, sécheresse, clarté de pensée)
 - **Santé** (syndrome du bâtiment malsain, asthme, bronchite, allergies, irritations, fatigue, céphalées)
→ absentéisme
 - **Performance** (impact cognitif direct + indirect via santé et confort)



© Monkey Business / Fotolia.com

Focus de la présentation

Contexte – Etude bibliographique

• Projet 3SqAir

- Sustainable Smart Strategy for Air Quality Assurance in Classrooms (2020-2023)

• Etude bibliographique (2023)

- Plus de 100 références
- **24 études avec des tests in situ**
- Comparaison et synthèse des résultats
- Conclusions publiées
 - Article dans The Conversation, Ouest France et Science & Vie
 - Article AIVC en cours de publication



l'éditiondusoir • POLLUTION Vendredi 24 mai 2024



MAGAZINE

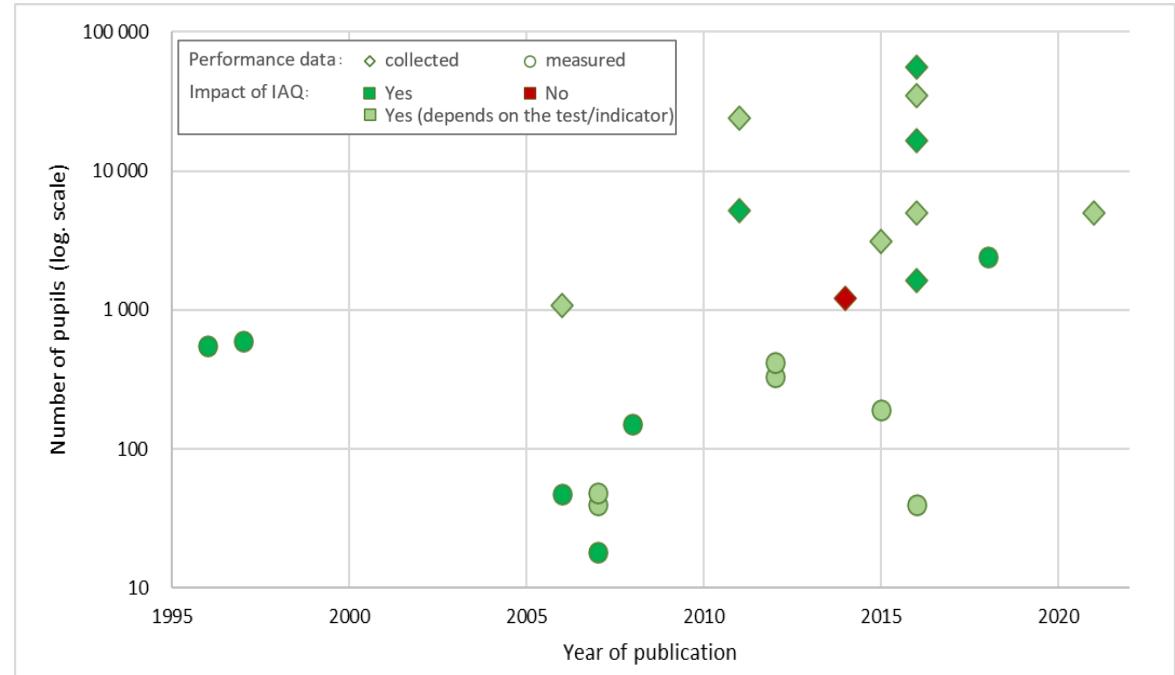
L'air respiré à l'école n'affecte pas que la santé des élèves, il influence aussi leur réussite

Par Nolwenn HUREL, chercheuse en physique du bâtiment, Cerema, et Gaelle GUYOT, chercheuse en physique du bâtiment, Cerema.

La pollution de l'air intérieur en classe augmente le risque d'asthme chez les élèves. La recherche s'inquiète aussi de son impact sur les apprentissages. Pourtant, des solutions existent.

Méthodologie des études

- Type de mesures
 - Suivi continu / mesures ponctuelles
 - Dans la classe / données QAI extérieures locales
- Méthodes d'évaluation de la performance cognitive
 - Tests spécifiques en classe (13/24)
 - Résultats de tests standardisés / évaluations nationales (11/24)



Résultats de l'analyse bibliographique

Indicator/ Pollutant	Statistically significant performance impact on X (number of) studies Examples of reading: X=-1: no statistically significant impact found in 1 study; X=4: a statistically significant impact observed in 4 studies																		
	Global		Psychological tests						Math/ numerical		Reading/ Language								
	YES	NO	General		Accuracy		Attention		Speed				YES	NO	YES	YES but not stat.	NO		
			YES	NO	YES	NO	YES	NO	YES	NO									
Ventilation rates	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0				
CO ₂	16	-1	7	0	1	0	2	-1	3	-1	6	-3	3	3	-2				
Particles in general	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0				
Coarse particles/PM ₁₀	2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	1	0	-1				
Fine particles/PM _{2,5}	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0				
VOCs	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1				
Formaldehyde	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1				
CO	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	1	0	-1				
NO ₂	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	-2				
O ₃	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	2	0	0				
Biologicals	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Mold	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
Dust	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1				

Résultats - Impact CO₂, ventilation et particules

- **CO₂ et performance** : effet significatif (16/17 études)

- Tests psychologiques : 7/7 (exactitude, attention, vitesse)
- Mathématiques : 6/9
- Lecture/langage : effet plus limité (3/8)

⚠ CO₂ = indicateur de QAI, effets aussi liés à d'autres polluants

- **Débit de ventilation** : effet significatif (3/3 études)

- Mathématique (2/2)
- Lecture/langage (1/1)

- **Particules PM₁₀/PM_{2,5}** : effet significatif (4/5 études)

- PM₁₀ (3/4); PM_{2,5} (3/3)

Résultats – Autres polluants

Premières tendances

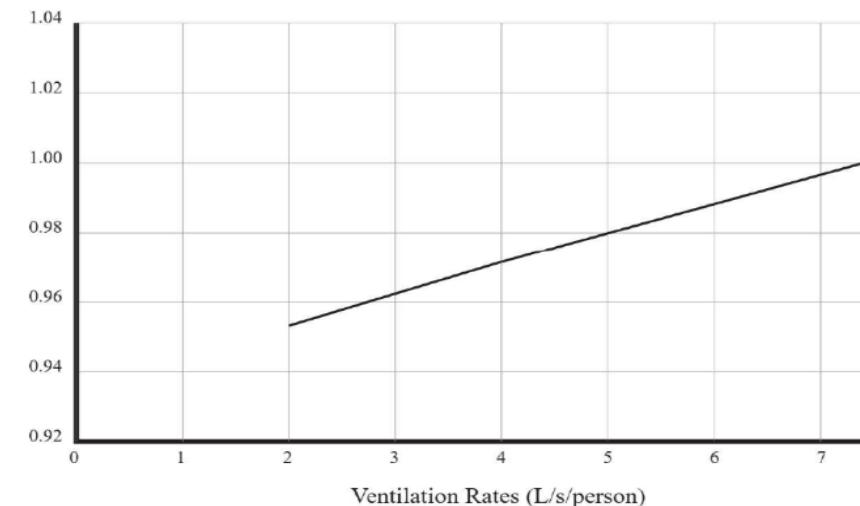
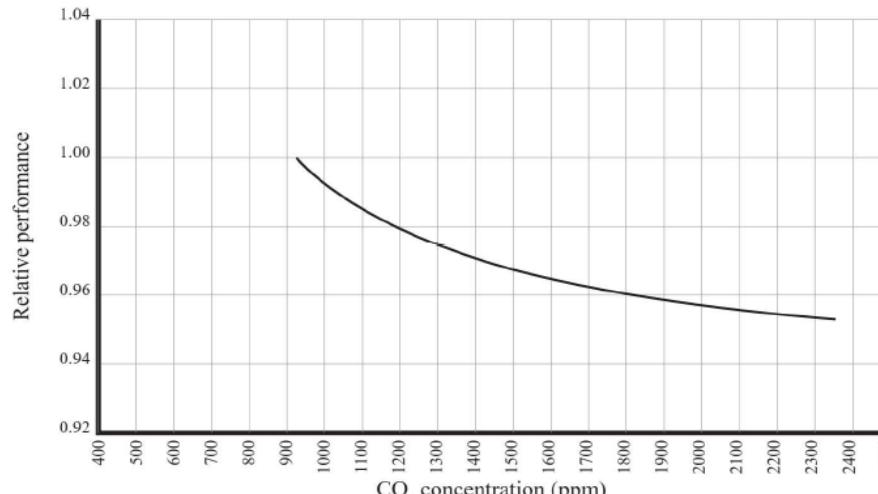
- **COV** : pas d'effet clair (1/2)
- **CO** : effets contrastés : maths dans une étude, langage dans l'autre (2/2)
- **NO₂** : résultats divergents: sur maths dans une étude (1/2)
- **O₃** : effets observés sur lecture (2/2) et mitigé pour maths (1/2)
- **Biologiques (allergènes, etc.)** : 1 étude → impact sur tests psychologiques
- **Moisissures** : 1 étude → impact sur résultats standardisés
- **Poussières** : 1 étude → pas d'effet significatif

→ Nécessité de nouvelles études pour préciser :

- l'impact de **chaque polluant** sur les différentes capacités cognitives
- Les « **effets cocktail** » possibles

Quantification de l'impact de la QAI

- Ventilation < 4 l/s/pers. ($14 \text{ m}^3/\text{h/pers.}$) → forte baisse des performances
- Amélioration jusqu'à 10 l/s/pers. ($36 \text{ m}^3/\text{h/pers.}$) puis effet plateau
- Réduire le CO_2 de 2100 à 900 ppm
 - +12 % vitesse d'exécution
 - +2 % exactitude
- Résultats aux examens : +5 % de réussite entre 2400 ppm et 900 ppm



(Wargocki et al., 2020)

Comparaison avec d'autres facteurs

- **PM₁₀** : impact similaire à (*Roth, 2018*):
 - primes financières élèves/enseignants
 - réduction de taille de classe (31 → 25 élèves)
- **Remédiation des moisissures** : efficace et moins coûteux que la réduction de classe (24 → 15 élèves) (*Stafford, 2015*)
- **CO₂** : 690 → 2909 ppm ≈ sauter le petit-déjeuner (*Coley, 2007*)
- **Ventilation accrue (> 22 m³/h/pers.)** : bénéfices comparables à (*Toyinbo, 2016*)
 - avoir des parents qui ont fait des études supérieures
 - faire la sieste

→ Améliorer la QAI : stratégie efficace et rentable pour améliorer les capacités cognitives des élèves

Coley D. A. et al. 2007. « The Effect of Low Ventilation Rates on the Cognitive Function of a Primary School Class ». International Journal of Ventilation 6 (2): 107-12.

Roth S. 2018. « The Effect of Indoor Air Pollution on Cognitive Performance: Evidence from the UK ».

Stafford T. M. 2015. « Indoor Air Quality and Academic Performance ». Journal of Environmental Economics and Management 70

Toyinbo O. et al. 2016. « Building Characteristics, Indoor Environmental Quality, and Mathematics Achievement in Finnish Elementary Schools ». Building and Environment 104

Nolwenn Hurel, Cerema

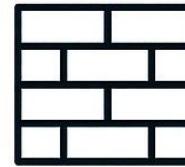
Recommandations pour améliorer la QAI dans les écoles d'après l'étude bibliographique

Conception du bâtiment



- Emplacement pour limiter l'entrée de polluants
- Fenêtres & prises d'air bien positionnées
- Débits de ventilation adaptés + filtres efficaces

Phase de construction



- Choix de matériaux, finitions, mobilier → faibles émissions de polluants

Utilisation du bâtiment



- Suivi du CO₂ avec affichage visuel
- Conseils pratiques par classe pour l'aération
- Réduction des sources chimiques
- Routine d'ouverture des fenêtres



Merci pour votre attention