



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



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)



Crédit: SYSPÉO/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



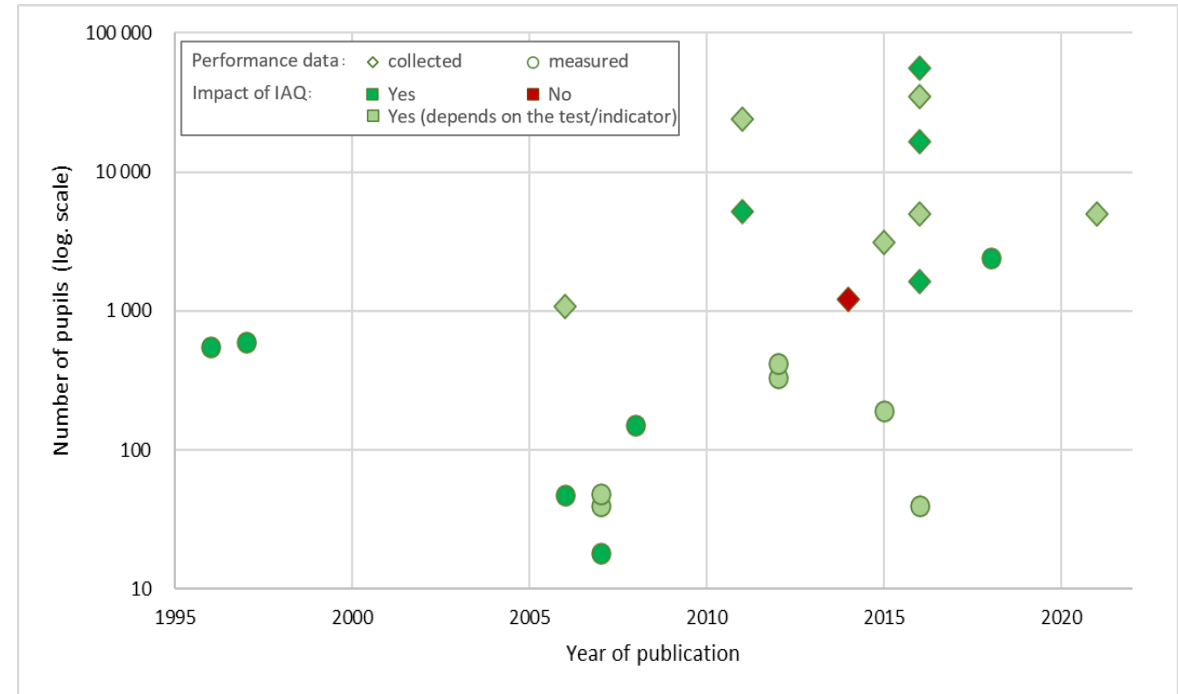
Méthodologie des études

- **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

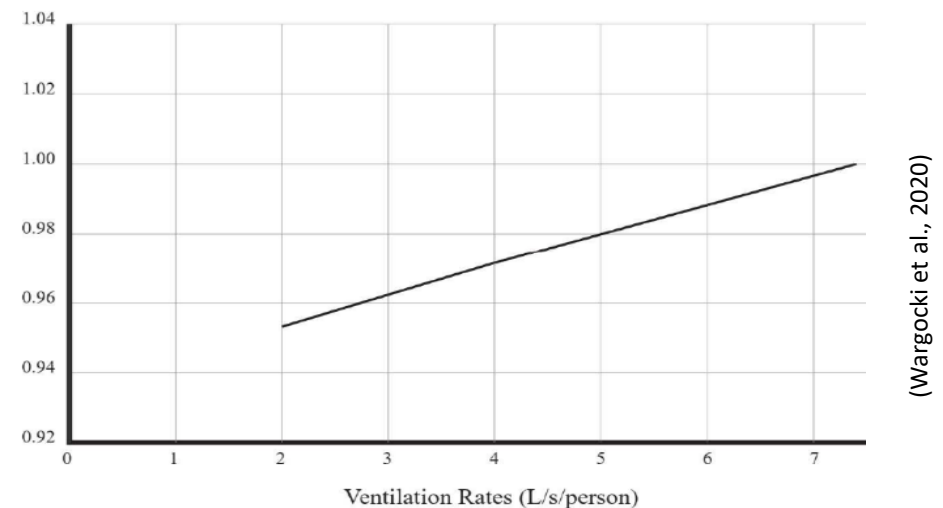
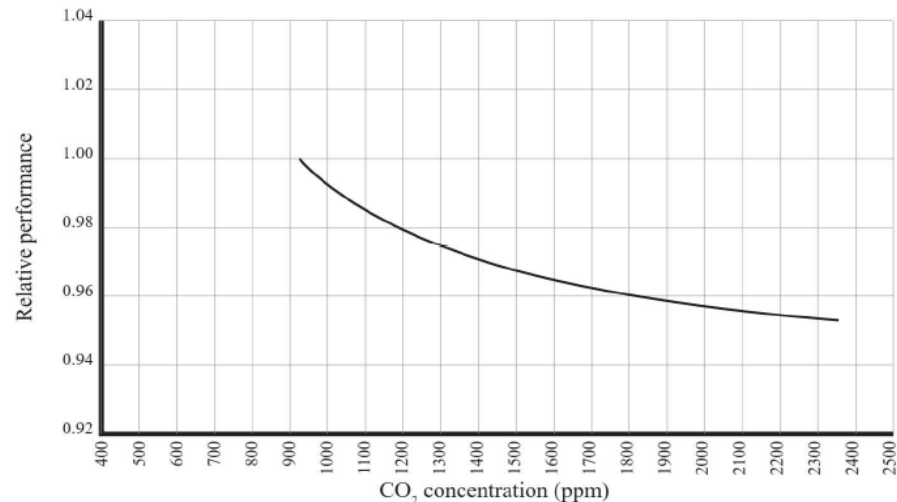
- **COV** : pas d'effet clair (1/2)
- **CO** : effets contrastés : maths dans une étude, langage dans l'autre (2/2)
- **NO₂** : résultats divergents: sur maths dans une étude (1/2)
- **O₃** : effets observés sur lecture (2/2) et mitigé pour maths (1/2)
- **Biologiques (allergènes, etc.)** : 1 étude → 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 m³/h/pers.) → forte baisse des performances
- **Amélioration jusqu'à 10 l/s/pers.** (36 m³/h/pers.) puis effet plateau
- **Réduire le CO₂ de 2100 à 900 ppm**
 - +12 % vitesse d'exécution
 - +2 % exactitude
- **Résultats aux examens : +5 % de réussite** entre 2400 ppm et 900 ppm



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

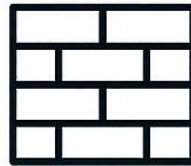
Recommandations pour améliorer la QAI dans les écoles d'après l'étude bibliographique

Conception du bâtiment



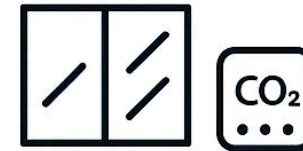
- Emplacement pour limiter l'entrée de polluants
- Fenêtres & prises d'air bien positionnées
- Débits de ventilation adaptés + filtres efficaces

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