

SANTÉ
ENVIRONNEMENT

JANVIER 2024

ÉTUDES ET ENQUÊTES

ÉVALUATION QUANTITATIVE D'IMPACT
SUR LA SANTÉ DE LA POLLUTION DE L'AIR
DANS ET AUTOUR DES ÉTABLISSEMENTS
SCOLAIRES

Pertinence, faisabilité et première application
au niveau national

Résumé

Évaluation quantitative d'impact sur la santé (ÉQIS) de la pollution de l'air dans et autour des établissements scolaires

Pertinence, faisabilité et première application au niveau national

Garantir une qualité de l'air favorable à la santé dans les établissements scolaires est un enjeu de santé publique mais encore insuffisamment pris en compte. La réalisation d'évaluation quantitative des impacts sur la santé (ÉQIS) de la pollution de l'air de ces environnements pourrait être un bon levier pour convaincre les acteurs de l'importance d'agir. Dans ce contexte, une étude de pertinence et de faisabilité a été menée et a permis de distinguer deux approches possibles pour déployer de premières ÉQIS sur le sujet :

- Une première approche ayant pour objectif **d'évaluer l'impact d'une amélioration de la qualité de l'air des salles de classe des écoles élémentaires – en considérant les concentrations en formaldéhyde et la présence de moisissures – sur la prévalence de l'asthme de l'enfant de 6 à 11 ans ;**
- Une deuxième approche s'intéressant aux **bénéfices d'une réduction de l'exposition aux polluants issus du trafic routier présent à proximité des établissements scolaires – en considérant le NO₂ comme marqueur de cette pollution – sur l'asthme de l'enfant.**

L'application de la première approche à un niveau national est présentée dans le cadre de ce rapport. Cette première ÉQIS a permis d'estimer que plusieurs milliers de cas d'asthme chez les enfants de 6 à 11 ans seraient évitables chaque année par une réduction des expositions au formaldéhyde et aux moisissures dans les salles de classe. Un résultat significatif est notamment observé sur la base d'un scénario d'amélioration des concentrations en formaldéhyde liée à un meilleur renouvellement de l'air des salles de classe. À ce stade, de nombreuses limites persistent. Les bénéfices estimés doivent notamment être attribués davantage à une réduction de l'exposition à différents composés organiques volatils qu'au formaldéhyde seul. Néanmoins, ces résultats confirment l'intérêt de poursuivre les actions d'amélioration de la qualité de l'air des salles de classe et de maintenir les gestes d'aération/ventilation au-delà de la crise sanitaire. Ce travail permet par ailleurs d'identifier les données à acquérir pour renforcer la robustesse de ces premières estimations. Des déclinaisons d'ÉQIS au niveau local, sur la base des deux approches identifiées, feront l'objet d'un deuxième rapport afin de compléter ces premiers résultats.

MOTS-CLÉS : ÉQIS, ENFANT, QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR, FORMALDÉHYDE, MOISSURES, ASTHME, ÉCOLES

Citation suggérée : Hulin M, Bidondo ML, Delezire P, Sivanantham S, Wagner V, Dassonville C, *et al.* Évaluation quantitative d'impact sur la santé (ÉQIS) de la qualité de l'air dans et autour des établissements scolaires. Pertinence, faisabilité et première étude nationale. Saint-Maurice : Santé publique France, 2023. 81 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174 - ISBN-NET : 979-10-289-0890-4 - RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE - DÉPÔT LÉGAL : JANVIER 2024

Abstract

Quantitative Health Impact Assessment (QHIA) applied to pollution in and around schools.

Feasibility and pertinence

Ensuring healthy air quality in schools is a public health issue. The implementation of quantitative health impact assessment (QHIA) of air pollution in these environments could be a good lever to convince stakeholders of the importance of acting. In this context, a relevance and feasibility study was carried out and allowed to distinguish two possible approaches to implement the first QHIAs on the subject :

- À first approach aimed at assessing the impact of improving the air quality of primary schools classrooms - considering formaldehyde concentrations and the presence of moulds - on the prevalence of asthma in children aged 6 to 11 years;
- À second approach focused on the benefits of reducing exposure to road traffic pollutants in the vicinity of schools - considering NO₂ as a marker of this pollution - on childhood asthma.

The results of the first approach implemented at a national level are presented in this report. According to the results of this first HIA, several thousands of cases of current asthma could be prevented in children aged 6 to 11 each year by reducing exposure to formaldehyde and mould in classrooms. A significant impact has especially been observed on the basis of a scenario involving an improvement in formaldehyde concentrations in conjunction with better air renewal in classrooms. These results should be taken with caution due to the limitations of the data currently available. Nevertheless, they highlight the substantial impact of indoor air pollution in classrooms and the importance of ensuring good air exchange in these environments. This work is also helping to identify the data that needs to be acquired to make these initial estimates more robust. QHIAs at local level, based on the two approaches identified, will be the subject of a second report to complement these initial results.

KEY WORDS : QHIA, CHILDREN, INDOOR AIR QUALITY, FORMALDEHYDE, MOULDS, ASTHMA, SCHOOL

Auteurs

**Marion Hulin¹, Marie-Laure Bidondo², Pauline Delezire¹, Sutharsini Sivanantham³,
Vèrene Wagner², Claire Dassonville³, Marie-Christine Delmas⁴, Sabine Host⁵, Magali
Corso¹, Sylvia Medina¹**

1. Direction santé environnement travail (Dset), Santé publique France
2. Direction appui, traitements et analyses de données (Data), Santé publique France
3. Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), Centre scientifique et technique du bâtiment
4. Direction maladies non transmissibles et traumatiques (DMNTT), Santé publique France
5. Observatoire régional de santé Île-de-France, Institut Paris Région

Relecteurs externes

Corinne Mandin

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)

Dr Nhàn Pham-Thi

École polytechnique

Céline Roda

Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm)

Jean-Marc Yvon

Santé publique France Auvergne-Rhône-Alpes

Remerciements

Pour le travail d'identification des enjeux et attentes réalisé dans le cadre de son stage de Master 2
Dalya Cheboub

Pour l'aide apportée pour la revue de la littérature

Edwige Bertrand (Santé publique France)

Pour la fourniture des données d'exposition

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (Centre scientifique et technique du bâtiment)

Pour sa relecture et ses suggestions

Guillaume Boulanger (Santé publique France)

Abréviations

AASQA	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
Atmo France	Fédération des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air
BET	Budget espace-temps
CNE	Campagne nationale Écoles
CO₂	Dioxyde de carbone
COV	Composés organiques volatils
COSV	Composés organiques semis-volatils
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
Drees	Direction de la recherche des études de l'évaluation et des statistiques
ECRHS	<i>European Community Respiratory Health Survey</i>
EMAPEC	<i>Estimating the Morbidity from Air Pollution and its Economic Costs</i>
ÉQIS	Évaluation quantitative d'impacts sur la santé
ÉQIS-PA	Évaluation quantitative d'impacts sur la santé de la pollution de l'air
ERP	Établissement recevant du public
ETM	Écart type à la moyenne
HCSP	Haut Comité de la santé publique
IC95 %	Intervalle de confiance à 95 %
ICONE	Indice de confinement d'air dans les écoles
IDW	Pondération par l'inverse de la distance
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
IOM	<i>Institute of Medicine</i>
ISAAC	<i>International Study of Asthma and Allergies in Childhood</i>
LUR	<i>Land Use Regression</i>
MCO	Médecine, Chirurgie, Obstétrique et Odontologie
NO₂	Dioxyde d'azote
OMS	Organisation mondiale de la santé
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
OR	Odds ratio
ORS	Observatoire régionale de santé
Oscour	Organisation de la surveillance coordonnée des urgences
PM	<i>Particulate matter</i>
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
QA/QAI	Qualité de l'air/Qualité de l'air intérieur
Relation/fonction C-R	Relation/fonction concentration-risque
RR/OR	Risque relatif/Odds ratio
SNDS	Système national des données de santé
Sniiram	Système national d'information inter-régimes de l'Assurance maladie
Sursaud[®]	Surveillance sanitaire des urgences et des décès
TRAP	Polluants issus du trafic routier
ULIS	Unités localisées pour l'inclusion scolaire
US-EPA	<i>United State Environmental Protection Agency</i>

Sommaire

Résumé	2
Abstract	3
Auteurs	4
Relecteurs externes et remerciements.....	4
1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS.....	8
2. PREMIÈRE PARTIE : PERTINENCE ET FAISABILITÉ DE MENER DES ÉQIS SUR LA QUALITÉ DE L’AIR DES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES	9
2.1 Méthode.....	9
2.1.1 Démarche générale	9
2.1.2 Informations collectées	10
2.1.2.1 Entretiens.....	10
2.1.2.2 Recherches bibliographiques.....	10
2.1.2.3 Autres éléments considérés.....	11
2.1.3 Analyse de la faisabilité	12
2.1.3.1 Vérification de la relation causale.....	12
Existence de relations concentration-risque robustes et applicables.....	12
Recensement des indicateurs d'exposition et de santé mobilisables	14
2.2 Résultats.....	14
2.2.1 Identification des enjeux et attentes sur le sujet.....	14
2.2.1.1 Éléments issus des entretiens.....	14
2.2.1.2 Informations complémentaires sur le contexte français.....	15
2.2.1.3 Couples polluants-effets étudiés dans la littérature	16
2.2.2 Périmètre de l'étude de faisabilité.....	18
2.2.2.1 Couples polluants-effets retenus.....	18
2.2.2.2 Population d'étude, types d'exposition et d'effets.....	19
2.2.3 Disponibilité des pré-requis à la mise en œuvre d'ÉQIS	20
2.2.3.1 Relation causale	20
2.2.3.2 Relations C-R identifiées.....	21
2.2.3.3 Indicateurs de santé et données environnementales mobilisables en France	24
2.2.3.4 Synthèse.....	25
2.3 Discussion sur la pertinence et la faisabilité d'ÉQIS centrées sur la QA des établissements scolaires.....	28
2.3.1 Une démarche d'intérêt	28
2.3.2 Des premières ÉQIS à initier	29
2.3.3 Des limites à ne pas négliger.....	30
3. DEUXIÈME PARTIE : MISE EN ŒUVRE D'UNE PREMIÈRE ÉQIS SUR L'EXPOSITION AU FORMALDÉHYDE ET AUX MOISSURES DANS LES ÉCOLES ÉLÉMENTAIRES ET L'ASTHME DE L'ENFANT DE 6-11 ANS	32
3.1 Introduction.....	32
3.2 Méthode.....	32
3.2.1 Zone, période et population d'étude	32
3.2.2 Données utilisées	32
3.2.2.1 Couples polluant-effet et relations concentration-risque retenus	32
3.2.2.2 Indicateurs de santé.....	33
3.2.2. Indicateurs d'exposition de la population et scénarios d'exposition	33
3.2.3 Scénarios retenus.....	33
3.2.4 Calculs réalisés	34

3.2.4.1	Équation.....	34
3.2.4.2	Prise en compte du BET dans les estimations	34
3.2.5	Analyses des incertitudes	35
3.3	Résultats de l'ÉQIS.....	36
3.3.1	Description des indicateurs.....	36
3.3.1.2	Estimation de l'asthme chez l'enfant de 6 à 11 ans en France	36
3.2.1.3	Exposition au formaldéhyde et aux moisissures dans les salles de classe.....	36
3.3.2	Evaluation de l'impact sur l'asthme d'une amélioration de la qualité de l'air des salles de classe.....	38
3.3.2.1	Diminution des concentrations en formaldéhyde	38
3.2.2.2	Absence de moisissures	38
3.4	Analyses des incertitudes	39
3.4.1	Identification des incertitudes et quantification.....	39
3.4.2	Discussions sur les incertitudes.....	42
3.4.2.1	Incertitudes liées à la relation C-R retenue.....	42
3.4.2.2	Incertitudes liées aux données de santé	43
3.4.2.3	Incertitudes liées aux données d'exposition	44
3.4.2.4	Incertitudes liées au calcul	44
3.5	Discussion générale.....	46
3.5.1	Une première estimation suggérant un bénéfice non négligeable sur l'asthme de l'enfant	46
3.5.1.2	Discussion sur les bénéfices liés à une amélioration de la QAI dans les salles de classes sur l'asthme de l'enfant	46
3.5.2.3	Discussion sur les impacts liés à un bon renouvellement de l'air dans les salles de classe sur l'asthme de l'enfant.....	47
3.5.2	Des actions possibles des collectivités et occupants des établissements	48
3.5.3	Des données à acquérir pour aller plus loin	50
4.	CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES	52
5.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	54
6.	ANNEXES.....	61
	Annexe 1. Liste des entités sollicitées dans le cadre des entretiens	61
	Annexe 2. Grille d'évaluation de la qualité des articles retenus à partir de la recherche bibliographique	62
	Annexe 3. Présentation détaillée des études incluses pour l'analyse des fonctions Concentration-Risque pour les trois couples retenus	64
	Annexe 4. Description des données sources identifiées pour renseigner les indicateurs de santé et d'exposition	72
	Annexe 5. Scénarios pour les calculs d'ÉQIS pour le formaldéhyde et les moisissures : modalités de calcul, valeurs seuil utilisées et concentrations moyennes recalculées	79
	Annexe 6. Caractéristiques des écoles en fonction de l'indice ICONE (échantillon non redressé)	80

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS

L'effet de la qualité de l'air intérieur (QAI) sur la santé représente un véritable enjeu de santé publique puisque chaque individu passe en moyenne 90 % de son temps dans des espaces clos [1]. L'exposition des enfants à la pollution de l'air a notamment fait l'objet d'un intérêt croissant ces dernières années en raison de la sensibilité accrue de cette population. Ils sont en effet soumis à une exposition aux substances présentes dans l'air plus importante que celle des adultes en raison du plus grand volume d'air respiré par rapport à leur poids et ont par ailleurs des systèmes immunitaire et respiratoire immatures [2]. Par ailleurs, les environnements scolaires constituent pour les enfants le deuxième milieu intérieur le plus fréquenté après le logement [3]. Or la qualité de l'air de ces lieux de vie peut être influencée par les sources d'émissions classiques des environnements intérieurs mais aussi par des paramètres plus spécifiques des salles de classe, telle que la densité d'élèves ou de mobilier dans la pièce ou les substances issues des fournitures scolaires [4]. De nombreuses études ont ainsi mis en évidence que la QAI des bâtiments scolaires pouvait avoir des répercussions sur la santé des élèves ainsi que sur leur apprentissage [5-7]. La proximité des établissements scolaires à des routes à fort trafic routier aurait également des conséquences sur la santé des enfants [8, 9]. En France, la première campagne nationale menée entre 2013 et 2017 a confirmé la présence de divers polluants dans ces environnements et a mis en évidence des problématiques de renouvellement de l'air de ces espaces [3].

Alors que plus de 12 millions d'élèves font leur rentrée chaque année en France, la garantie d'une bonne qualité de l'air dans et autour des établissements scolaires est indispensable. Cela semble d'autant plus important à prendre en compte dans le contexte actuel d'exigence en matière d'efficacité énergétique et de déploiement de plans d'investissement pour la rénovation énergétique des bâtiments publics dont les établissements scolaires. Il convient donc de s'assurer que ces rénovations permettent de préserver une bonne QAI. Le cadre aménagé et bâti, s'il est conçu et élaboré avec soin, peut en effet être un outil très efficace pour améliorer les conditions de vie et d'apprentissage des élèves. Au-delà des établissements scolaires, cette question se pose plus globalement pour les établissements recevant des enfants et notamment les crèches. Parmi les outils développés au sein de Santé publique France, la démarche d'Évaluation quantitative d'impact sur la santé (ÉQIS), initialement proposée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), permet de quantifier l'impact sur la santé d'un ou plusieurs polluants de l'air extérieur et d'estimer le fardeau sanitaire que représente cette pollution [10]. En produisant des estimations quantitatives objectives, ces ÉQIS constituent des outils de sensibilisation aux effets de ces nuisances sur la santé mais aussi des outils d'aide à la décision afin de planifier et d'appliquer les mesures les plus adaptées pour protéger la santé de la population [11]. Elles reposent pour cela sur l'évaluation de l'impact sanitaire de différents scénarios (atteinte de valeurs de référence, diminution des concentrations attendues à la suite d'une action donnée...).

L'utilisation d'une telle démarche concernant la pollution de l'air des environnements scolaires pourrait améliorer la connaissance de leurs conséquences sur la santé et servir à convaincre les acteurs de l'importance d'agir. Santé publique France a donc souhaité :

- évaluer la pertinence et la faisabilité de réaliser des ÉQIS sur la QA des établissements scolaires et définir les contours de premières ÉQIS à mener le cas échéant ;
- mener ces ÉQIS pour obtenir une première estimation des retombées de la qualité de l'air des établissements scolaires sur la santé de l'enfant et identifier les verrous et données nécessaires pour un déploiement de ce type d'approche.

Ce premier rapport a pour objet de présenter les résultats de l'étude de pertinence et de faisabilité ainsi que de la première application au niveau national d'une ÉQIS centrée sur la QAI des établissements scolaires.

2. PREMIÈRE PARTIE : PERTINENCE ET FAISABILITÉ DE MENER DES ÉQIS SUR LA POLLUTION DE L’AIR DES ÉTABLISSEMENTS SCOLAIRES

2.1 Méthode

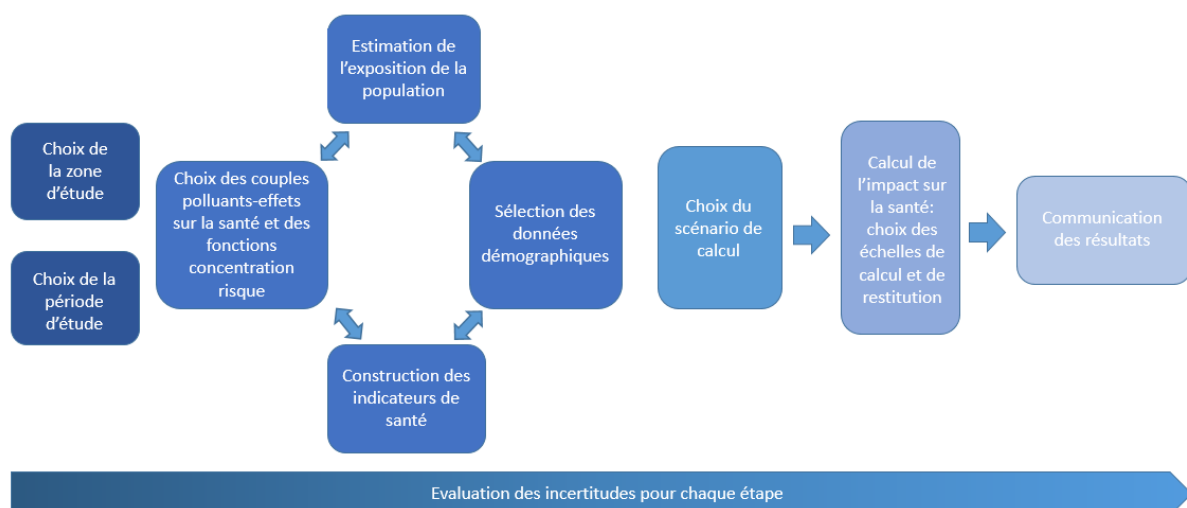
2.1.1 Démarche générale

La pertinence de réaliser des ÉQIS sur la pollution de l’air des établissements scolaires a été évaluée au regard des enjeux et des attentes sur le sujet. Pour cela, des entretiens avec différents acteurs impliqués sur ce sujet ont été menés ainsi qu’une revue de la littérature. Cette dernière avait aussi pour objectif d’identifier les couples « polluants-effets » pour lesquels des données étaient disponibles. Ces couples ont ainsi pu être mis au regard des sujets prioritaires identifiés via l’analyse des entretiens et de la littérature afin de définir ceux pour lesquels la faisabilité d’une ÉQIS était pertinente à étudier. Ce travail a également permis de préciser le périmètre de l’étude de faisabilité en termes de population ciblée et type d’effets et d’exposition considérés.

La démarche d’ÉQIS repose sur différentes étapes interdépendantes (Figure 1) et nécessite pour son exécution de disposer :

1. De l’hypothèse d’une relation causale entre le facteur de risque étudié et l’effet considéré suffisamment étayée ;
2. De relations concentration-risque considérées comme robustes et applicables au contexte étudié ;
3. D’indicateurs de l’exposition et de l’état de santé de la population.

Figure 1 : Étapes d’une évaluation quantitative des impacts sur la santé



Source : [12]

L’évaluation de la faisabilité a donc consisté à vérifier, pour chaque couple polluant-effet retenu, la disponibilité de ces différents éléments et à préciser les objectifs des premières ÉQIS à éventuellement mettre en place sur le sujet.

2.1.2 Informations collectées

2.1.2.1 Entretiens

Des entretiens ont été menés avec des acteurs français impliqués sur le sujet afin d'évaluer les enjeux et attentes concernant la question de la qualité de l'air des établissements scolaires (liste des acteurs en annexe). Ces entretiens se sont déroulés entre mars et mai 2020. Trois catégories de parties prenantes ont été ciblées : des associations et représentants de citoyens, des collectivités et élus et enfin des établissements publics et/ou administrations sanitaires ou environnementaux. Différentes échelles géographiques ont également été visées : locale, nationale et européenne.

Après une présentation du contexte et des objectifs de l'entretien, un échange semi-directif a été organisé autour des questions suivantes :

1. Quels sont selon vous les enjeux et attentes actuels sur la question de la QAI dans les établissements scolaires ? La problématique de la QAI est-elle suffisamment considérée selon vous dans les actions de prévention ? Par les pouvoirs publics ?
2. Quels sont les acteurs à sensibiliser selon vous en priorité pour favoriser une action d'amélioration de la QAI dans les établissements scolaires ?
3. Quels sont pour vous le ou les polluants les plus préoccupants d'un point de vue sanitaire dans l'air des crèches et établissements scolaires ?
4. Quelle est selon vous la priorité lorsqu'on s'intéresse à l'impact sanitaire de la QAI ?
 - a. Calculer le fardeau que représente cette pollution : par exemple, la pollution de l'air intérieur réduit de X le nombre d'années de vie en bonne santé ?
 - b. Estimer les bénéfices d'une diminution des concentrations de pollution dans les établissements scolaires : par exemple, une diminution de X de la pollution de l'air dans les établissements scolaires permettra de diminuer de X le nombre de recours aux soins pour crise d'asthme ?
 - c. Évaluer les bénéfices d'une action (intervention) visant à réduire la pollution : par exemple, l'interdiction de la circulation dans les grands axes à proximité des établissements scolaires permettra de diminuer de X le nombre d'enfants développant un asthme ?
5. Quelle zone est à considérer en priorité : France entière ? Région spécifique ? Écoles les plus polluées ?

2.1.2.2 Recherches bibliographiques

Recherche principale

Une première recherche bibliographique a été menée dans la base de données PubMed (*US National Library of Medicine*) sur la période 2005-2020. Cette recherche avait pour objectif d'identifier les couples polluants-effets étudiés dans la littérature. L'équation de recherche utilisée a été structurée autour de trois blocs de mots-clés : un relatif à l'exposition à la pollution de l'air, un relatif aux environnements scolaires et un dernier relatif aux effets sur la santé.

Certaines sources spécifiques de pollution moins pertinentes en milieu scolaire en France ont été exclues en amont de la recherche. Il s'agissait notamment de la fumée de cigarette en raison de son interdiction dans les établissements d'enseignement public ou privé (décret n° 2006-1386 du 15 novembre 2006 du ministère des solidarités et de la santé) et les combustibles solides (bois, résidus agricoles, charbon...). La requête utilisée est présentée ci-dessous :

("Air Pollution, Indoor"[MAJR] OR "Volatile Organic Compounds"[MAJR] OR "Particulate Matter"[MAJR] OR "Dust"[MAJR] OR "Formaldehyde"[MAJR] OR "Benzene"[MAJR] OR "Nitrogen Dioxide"[MAJR] OR "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons"[MAJR] OR "Pesticides"[Mesh] OR "polycyclic aromatic hydrocarbons" [TIAB] OR Pesticides[TIAB] OR Herbicide*[TIAB] OR (air[TIAB] AND contamin*[TIAB]) OR (air[TIAB] AND quality[TIAB]) OR (Air[TIAB] AND Indoor[TIAB]) OR (pollut*[TIAB] AND Air[TIAB]) OR (pollut*[TIAB] AND Indoor[TIAB]) OR (Temperatur*[TIAB] AND Indoor[TIAB]) OR "Indoor air"[TIAB] OR (Risk*[TIAB] AND Indoor[TIAB]) OR (Allergen*[TIAB] AND Indoor[TIAB]) OR (Environment*[TIAB] AND Indoor[TIAB]) OR ventilation[TIAB] OR Dust[TIAB] OR Dampness[TIAB] OR particulate[TIAB] OR particule[TIAB] OR particles[TIAB] OR Formaldehyde[TIAB] OR "Benzene"[TIAB] OR "Nitrogen Dioxide"[TIAB] OR "Semivolatile organic compounds"[TIAB] OR "semi-volatile organic compounds"[TIAB] OR "volatile organic compounds"[TIAB] OR Mold[TIAB] OR Molds[TIAB] OR (Comfort[TIAB] AND indoor[TIAB])) AND ("Child Day Care Centers"[MAJR] OR Schools[MAJR] OR School[TI] OR Schools[TI] OR "Care centers"[TI] OR Kindergarten[TI] OR Nursery[TI] OR Nurseries[TI] OR Daycare*[TI] OR Childcare*[TI] OR "child-care" [TI] OR College[TI] OR Classroom*[TIAB] AND ("Respiratory Tract Diseases"[Mesh] OR "Eczema"[Mesh] OR "Anxiety"[Mesh] OR "Mental Disorders"[Mesh] OR Respiratory[TIAB] OR Lung[TIAB] OR Asthma[TIAB] OR Absenteeism[TIAB] OR Absence[TIAB] OR Allerg*[TIAB] OR Cardiorespiratory[TIAB] OR symptom*[TIAB] OR Rhinitis[TIAB] OR Anxiety[TIAB] OR Health[TIAB] OR Disease*[TIAB] OR Risk[TIAB] OR "Odds Ratio"[TIAB] OR Impact[TIAB] OR Eczema[TIAB] OR Dermatitis[TIAB] OR Bronch*[TIAB] OR "Attention Deficit Disorders"[TIAB] OR Hyperactivity[TIAB] OR ADHD[TIAB] OR "Neurodevelopmental Disorders"[Mesh]))

Les articles ont été sélectionnés sur la base de leur titre, leur résumé et si nécessaire le texte entier. Seuls les articles publiés en anglais et en français ont été retenus. Pour l'analyse, les revues de la littérature et méta-analyses ont été distinguées des études épidémiologiques individuelles. Les articles faisant état de la pollution de l'air intérieur dans des pays présentant un contexte très différent du contexte français (pays d'Afrique, d'Amérique latine notamment) ont également été exclus. Ce critère n'a pas été retenu pour les revues de la littérature et les méta-analyses dans la mesure où ces dernières reposent sur un état de la littérature regroupant les résultats de différents articles d'origine géographique variée.

Recherche complémentaire

Une mise à jour des références disponibles entre mars 2020 (date de fin de la recherche précédente) et septembre 2021 a été effectuée une fois les couples polluants-effets identifiés. La recherche a également été élargie aux méta-analyses disponibles depuis 2005 s'intéressant à d'autres environnements que le milieu scolaire (domicile ou environnement extérieur) mais portant sur les couples polluants-effets considérés. L'ensemble des résultats de la première et la deuxième requête a été analysé dans un objectif d'identifier les relations concentration-risque (C-R) disponibles sur la base des associations estimées dans les études. Pour cela, l'analyse des articles s'est limitée aux études ayant quantifié les expositions (soit par modélisation sur la base de données issues de stations de mesure de la pollution de l'air, soit directement mesurées au niveau de l'environnement considéré) à l'exception des études portant sur les moisissures pour lequel l'exposition était basée sur la déclaration, par l'enquêteur ou la personne enquêtée, de moisissures ou de signes d'humidité visibles. Les revues de la littérature ont servi à l'identification d'articles complémentaires à ceux préalablement identifiés par les requêtes bibliographiques.

2.1.2.3 Autres éléments considérés

Les données de la littérature grise portant sur la QA des établissements scolaires en France et le contexte réglementaire en vigueur en France sur le sujet ont également été considérées pour l'analyse des enjeux et attentes.

Les relations concentration-risque et indicateurs sanitaires et environnementaux préconisés par Santé publique France dans le cadre des ÉQIS-PA [10] ont également été pris en compte.

Un recensement des enquêtes et bases de données nationales intégrant plus spécifiquement les enjeux de qualité de l'air des établissements scolaires a été mené en complément.

2.1.3 Analyse de la faisabilité

2.1.3.1 Vérification de la relation causale

L'existence d'un lien de causalité a été vérifiée en s'appuyant sur les conclusions de collectifs d'experts, notamment de l'OMS et de l'Anses. En cas d'absence de conclusion de collectifs d'experts, les critères de Bradford Hill ont été considérés et les mécanismes biologiques ont été recherchés afin de justifier le critère de plausibilité biologique [13].

2.1.3.2 Existence de relations concentration-risque robustes et applicables

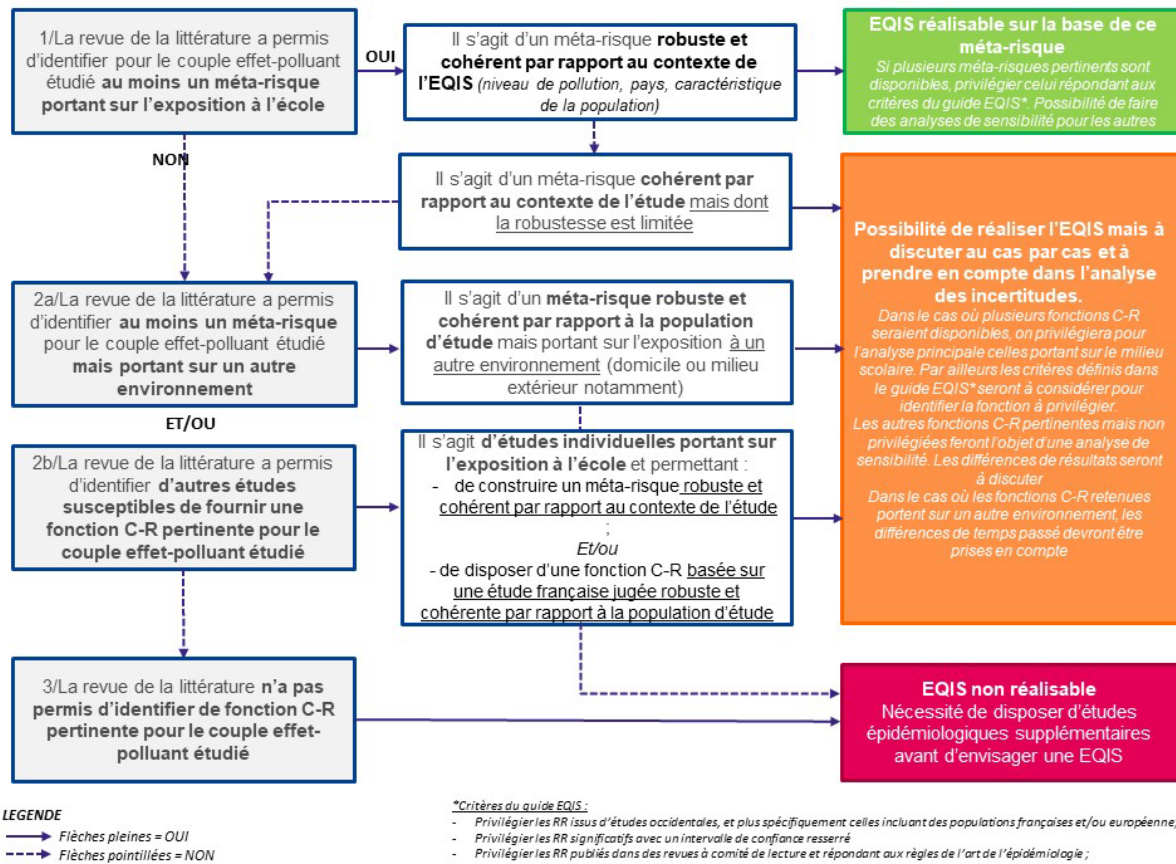
Identification et sélection des relations concentration-risque

La disponibilité des relations concentration-risque (C-R) a reposé sur l'analyse des articles identifiés via la recherche bibliographique. Les méta-analyses et études individuelles ainsi identifiées ont été analysées selon la robustesse de l'étude et l'applicabilité par rapport au contexte de notre travail.

La robustesse a été évaluée à l'aide d'une grille déjà utilisée dans de précédents travaux [14, 15] et adaptée à la problématique de la qualité de l'air intérieur. Cette grille était composée de plusieurs critères et sous critères relatifs principalement à la méthodologie de l'étude (Annexe 1). Elle permettait ainsi de disposer d'une liste de points à vérifier pour juger de la robustesse et de la qualité scientifique de chacune des études identifiées. L'applicabilité a été évaluée en mettant en regard les modes de vie, climat, concentrations en polluants des pays dans lesquels ont été menées les études par rapport à ceux de la France. Les environnements dans lesquels ont été menées les études (établissements scolaires versus autre environnement, situation spécifique dont les zones industrielles par exemple, etc.) ainsi que la population d'étude ont plus particulièrement été pris en compte pour évaluer la cohérence d'utiliser les fonctions C-R issues de ces études.

Ces éléments ont permis d'évaluer la faisabilité de réaliser une ÉQIS (Figure 2).

Figure 2 : Démarche d'évaluation de la faisabilité de mener une ÉQIS au regard des fonctions concentration-risque identifiées



Fonction C-R = Fonction concentration-risque ; ÉQIS = Évaluation quantitative des impacts sur la santé

Construction de nouveaux méta-risques

La construction de nouveaux méta-risques a été envisagée lorsqu'aucun autre méta-risque n'avait été identifié mais que des études individuelles jugées robustes et cohérentes par rapport au contexte de notre travail étaient disponibles. Les études portant sur l'exposition dans les salles de classe et celles portant sur l'exposition à proximité des établissements scolaires ont été séparées, dans la mesure où ces deux approches n'estimaient pas la même exposition (intérieure versus extérieure) et présentaient des méthodologies différentes (mesures hebdomadaires versus modélisation sur une période plus longue).

Lorsque, au sein d'une même étude, des fonctions C-R ont été calculées pour plusieurs indicateurs relatifs à une même pathologie, une priorisation a été effectuée pour retenir l'indicateur le plus pertinent au regard du type d'effet et d'exposition retenus. Par exemple, des fonctions concentration-risque ont parfois été estimées à la fois pour la prévalence de l'asthme actuel (défini par un diagnostic d'asthme dans la vie et des sifflements dans les douze derniers mois ou la prise de médicaments, dans les douze derniers mois, contre des crises de sifflements ou d'asthme) et la prévalence des symptômes d'asthme (sifflements) dans les douze derniers mois. Dans ce cas, la priorité a été donnée à l'estimation portant sur l'asthme actuel avant celle ne portant que sur les sifflements au cours des douze derniers mois. Dans le cas où seule une relation concentration-risque pour l'asthme vie (diagnostic d'asthme dans la vie) était disponible, cette relation a été prise en compte uniquement si l'étude portait sur le milieu scolaire afin d'exclure l'impact d'une exposition durant les premières années de vie.

Recensement des indicateurs d'exposition et de santé mobilisables

Les indicateurs d'exposition et de santé issus de chaque source de données identifiées ont été décrits dans la partie résultats, notamment leurs forces et faiblesses. Ils ont également été mis au regard des fonctions concentration-risque identifiées, le choix visant à obtenir la meilleure adéquation possible entre les données utilisées pour l'ÉQIS (population, indicateurs environnementaux, indicateurs de santé) et celles utilisées dans les études épidémiologiques ayant permis de les estimer.

2.2 Résultats

2.2.1 Identification des enjeux et attentes sur le sujet

2.2.1.1 Éléments issus des entretiens

Dix-neuf entretiens ont été menés, permettant ainsi de collecter l'avis de 23 personnes. Six d'entre eux ont été réalisés auprès de personnes travaillant sur des sujets relatifs aux enjeux de santé-environnement ou aux maladies respiratoires au sein de Santé publique France. Parmi les treize entretiens extérieurs à l'agence, sept ont concerné des personnes travaillant dans des établissements publics et/ou des administrations sanitaires ou environnementales, quatre des associations et représentants de citoyens et deux des représentants d'élus et/ou de collectivités. Près de la moitié des entretiens concernait des personnes ayant une vision nationale de la question (n=8) mais les avis d'acteurs aux niveaux local (n=5) et européen (n=1) ont aussi pu être recueillis.

- Enjeux/Attentes

Les acteurs ont indiqué que, selon eux, les enjeux liés à la qualité de l'air intérieur n'étaient pas assez connus de la population, et plus spécifiquement des acteurs en relation directe avec l'école tels que les professeurs, les directeurs d'établissement et les agents de nettoyage (n=5 sur 12 acteurs ayant donné un avis sur ce sujet). Il leur semblait nécessaire que ce sujet soit traité et visible au même titre que la pollution de l'air extérieur. Il leur apparaissait par ailleurs nécessaire de mieux comprendre les transferts de polluants de l'extérieur vers l'intérieur des locaux (n=4). Selon eux, cette prise de conscience et l'amélioration des connaissances pourraient permettre de déclencher des actions visant à améliorer la QAI ainsi que l'intégration de ces questions sanitaires dans les nouvelles constructions et les projets de rénovation, notamment énergétique, des bâtiments scolaires (n=3). Quelques acteurs ont par ailleurs souligné l'intérêt de la réglementation sur la surveillance de la qualité de l'air des établissements scolaires pour aller dans ce sens.

- Acteurs à cibler

L'ensemble des acteurs interrogés ont jugé qu'il était nécessaire de sensibiliser à toutes les échelles : au niveau local (les professeurs, les chefs d'établissements, les parents d'élèves, les mairies, les départements, les académies, les Agences régionales de santé) mais aussi au niveau national (ministère de l'Éducation nationale, grand public...).

- Polluants

Plusieurs polluants ont été cités comme d'intérêt : les composés organiques volatils (COV), notamment le formaldéhyde (n=8 sur les 15 ayant donné un avis sur ce sujet), les particules fines (PM_{2,5}) et le dioxyde d'azote (NO₂) (n=6 et 5 respectivement) et dans une moindre

mesure les composés organiques semi-volatils¹ et le dioxyde de carbone (CO₂). Au-delà des polluants cités, les entretiens ont souvent fait émerger la distinction entre les polluants issus plus spécifiquement de sources intérieures (formaldéhyde, phtalates...) et ceux issus principalement de transferts de l'extérieur de l'établissement vers les cours de récréation et les classes (PM_{2,5}, NO₂, pesticides...). Par ailleurs, les acteurs ont rarement évoqué les moisissures, pourtant fréquemment abordées dans la littérature.

- Scénarios

Il a été évoqué à de multiples reprises l'importance d'orienter de manière positive les scénarios des ÉQIS. Deux objectifs ont ainsi émergé : sensibiliser les acteurs en estimant les bénéfices d'une réduction des niveaux de pollution dans les établissements scolaires, et aider à la prise de décision en estimant les bénéfices de la mise en place d'interventions visant à diminuer les niveaux de pollution dans ou autour des établissements.

- Zone(s) d'étude

Deux avis se distinguent en fonction des acteurs interrogés : d'une part, la pertinence de réaliser une ÉQIS à l'échelle de la France entière avec des problématiques liées à des polluants du milieu intérieur, et d'autre part un focus sur une ville ou une région afin de travailler sur des questions plus spécifiques à la zone. Pour ce deuxième cas, deux sujets d'intérêt ont été évoqués : l'épandage de pesticides dans un environnement rural et le trafic routier dans un environnement urbain.

2.2.1.2 Informations complémentaires sur le contexte français

L'analyse de la littérature grise a permis d'identifier les rapports suivants à prendre en compte dans les réflexions :

- Les premiers résultats de la Campagne nationale Écoles (CNE) de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) [3]

La CNE a décrit la qualité de l'air intérieur dans 301 écoles primaires françaises entre 2013 et 2017. Les premiers résultats montrent que la plupart des établissements respectaient les valeurs guides réglementaires pour le benzène et le formaldéhyde (environ 83 % des établissements pour le benzène considérant la valeur de 2 µg/m³ et 77 % pour le formaldéhyde considérant la valeur de 30 µg/m³) [4]. Considérant la valeur guide sanitaire de 20 µg/m³ définie pour le NO₂ en air intérieur, 13 % des écoles avaient au moins une classe présentant des dépassements. En revanche, les concentrations en PM_{2,5} et en CO₂ étaient au-delà des préconisations pour un grand nombre de salles de classe (96 % des écoles avaient au moins une salle de classe dépassant la valeur guide de l'OMS pour l'air ambiant de 2005 pour les particules fines, 40 % des écoles ont au moins une classe avec un indice ICONNE (mesurant le confinement sur une échelle de 0 à 5) très élevé (≥ 4). Enfin, 25 % des écoles avaient au moins une salle de classe présentant au moins un signe d'humidité ou de moisissures visibles.

- Les travaux effectués par l'association Respire sur les niveaux d'exposition des établissements scolaires d'Île-de-France [16]

Ces travaux ont mis en évidence, à partir des données fournies par AirParif (moyenne des concentrations de 2012 à 2017 en air extérieur), que la moitié des 12 520 établissements

¹ Les COSV (Composés organiques semi-volatils) sont des COV (Composés organiques volatils) non volatils dans les conditions normales de température et de pression mais qui le deviennent dans certains environnements. Ces substances appartiennent à un grand nombre de familles chimiques différentes ayant des usages multiples notamment dans les bâtiments (phtalates, polychlorobiphényles, composés organochlorés, organobromés et organophosphorés, hydrocarbures aromatiques polycycliques, certains pesticides...).

scolaires franciliens était située dans des zones où les concentrations en NO₂ dépassaient la valeur limite réglementaire (soit 40 µg/m³). Les résultats portant sur les particules fines ne montraient aucun dépassement de la valeur limite pour les PM_{2,5} (25 µg/m³) et un seul pour les PM₁₀ (40 µg/m³). Des dépassements étaient cependant observés en considérant les seuils OMS de l'époque (10 620 établissements dépassant les 10 µg/m³ pour les PM_{2,5} et 4 093 dépassant les 20 µg/m³ pour les PM₁₀).

- Le projet SINPHONIE (Pollution intérieure et santé dans les écoles, Réseau d'observation en Europe) [17]

Ce projet, financé par la Commission européenne, avait pour objectif d'améliorer la qualité de l'air des salles de classe. Il reposait pour cela sur l'analyse de données collectées entre 2010 et 2012, dans 114 écoles primaires de 23 pays européens afin d'émettre des lignes directrices, des recommandations et des propositions de gestion pour les actions futures permettant de garantir un air sain dans les écoles. Ce travail a également mis en évidence que de nombreuses écoles avaient des concentrations élevées en intérieur pour certains polluants (au-dessus des valeurs guides recommandées dans le cas des PM_{2,5}, le formaldéhyde, le benzène et le radon). En outre, 67 % des écoles sélectionnées étaient situées dans le voisinage d'une route à fort trafic (sans précision sur la fréquence de passage) et 20 % des écoles fonctionnaient avec des densités d'occupation de moins de 2 m² par enfant.

En termes de réglementation, une surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant un public sensible a été rendue obligatoire par la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010². Elle a été mise en pratique dès le 1^{er} janvier 2018 dans les écoles maternelles, élémentaires et crèches puis au 1^{er} janvier 2020 dans les centres de loisirs et les établissements d'enseignement du second degré. Dans ce cadre, les collectivités avaient le choix d'effectuer une campagne de mesures de polluants (formaldéhyde, benzène, CO₂ pour évaluer le confinement et éventuellement le perchloréthylène pour les établissements contigus à un pressing) par un organisme accrédité tous les sept ans ou de réaliser un autodiagnostic. À la suite du 4^e Plan national santé environnement (PNSE 4) et de la crise Covid-19, un nouveau dispositif réglementaire a été proposé³ comprenant :

- Une évaluation annuelle des moyens d'aération incluant notamment la mesure à lecture directe de la concentration en CO₂ de l'air intérieur ;
- Un autodiagnostic de la QAI au moins tous les quatre ans ;
- Une campagne de mesures, par un organisme accrédité, des polluants réglementaires (benzène et formaldéhyde) à chaque étape clé de la vie des bâtiments ;
- Un plan d'actions prenant en compte l'évaluation annuelle des moyens d'aération, l'autodiagnostic et la campagne de mesures précitées.

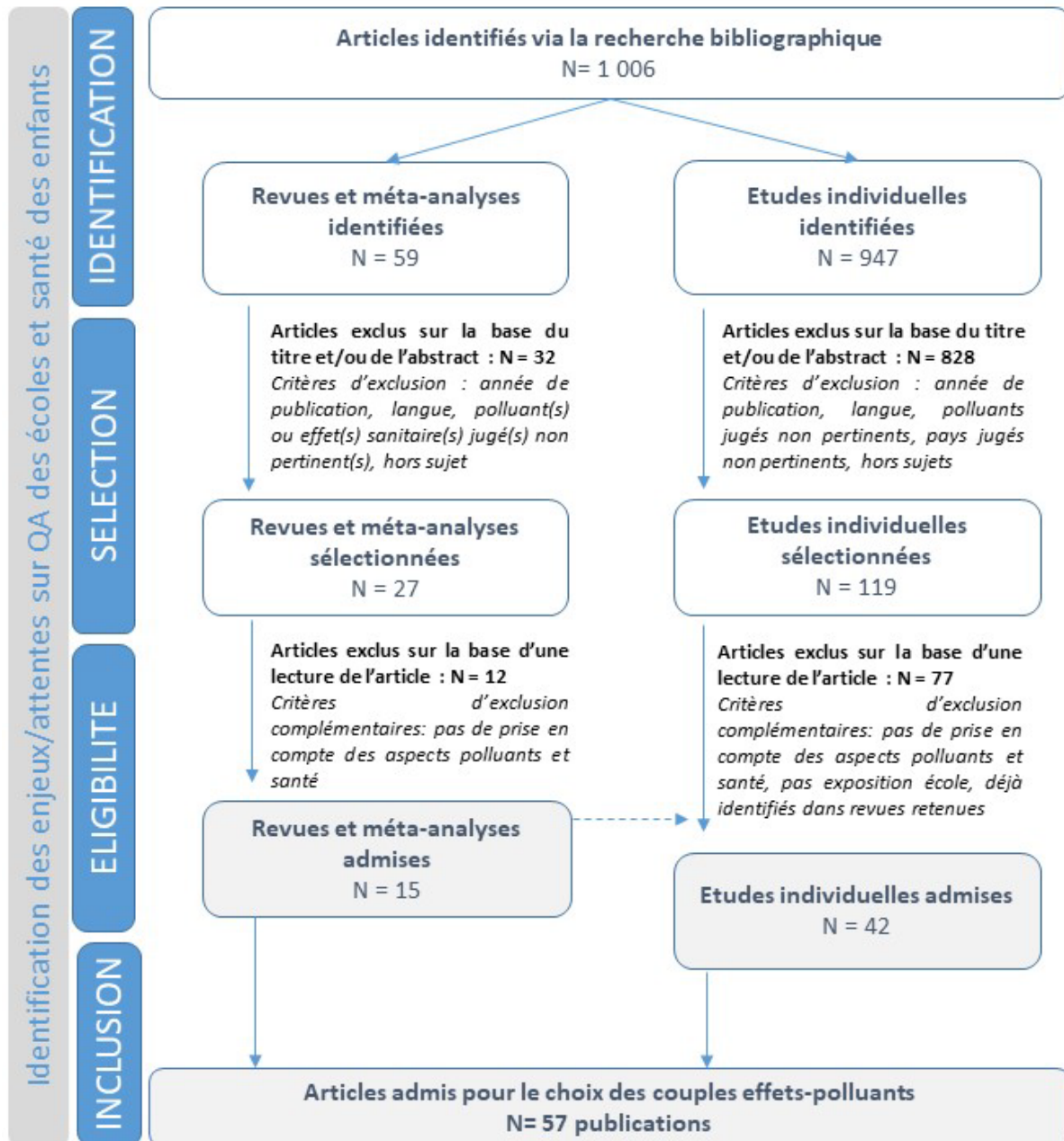
2.1.1.3 Couples polluants-effets étudiés dans la littérature

La première requête a permis d'identifier 1 006 articles (hors doublons) : 57 ont été retenus après lecture du titre, du résumé, puis si nécessaire du texte dont 15 correspondaient à des revues ou méta-analyses et 42 à des articles individuels (Figure 3). Pour cette dernière catégorie, seuls les articles ne figurant pas dans les méta-analyses et revues retenues ont été conservés.

² Décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011, décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012, décret n° 2015-1000 du 17 août 2015, arrêté du 1^{er} juin 2016 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public et arrêté du 1^{er} juin 2016 relatif aux modalités de présentation du rapport d'évaluation des moyens d'aération.

³ Décret n° 2022-1689 du 27 décembre 2022 modifiant le code de l'environnement en matière de surveillance de la qualité de l'air intérieur.

Figure 3 : Diagramme des études incluses/exclues pour l'identification des enjeux portant sur la QA des établissements scolaires et santé de l'enfant



La plupart des résultats portaient sur le lien entre qualité de l'air dans les établissements scolaires et santé allergique et respiratoire de l'enfant (N=32 dont 5 des 15 méta-analyses) et notamment l'asthme de l'enfant. Les études les plus récentes présentaient des données sur les répercussions de la qualité de l'air des établissements scolaires, et plus globalement sur les conditions d'ambiance, sur les conditions d'apprentissage de l'enfant et sur son bien-être. Enfin quelques études s'intéressaient à la question du cancer de l'enfant corrélée avec le milieu scolaire (N=4). En matière de polluants, la plupart des études portaient sur les moisissures (N=7) et les particules (N=9).

Si l'on considère plus spécifiquement les 15 revues et méta-analyses retenues :

- 1 publication correspondait à une méta-analyse portant sur le lien entre l'exposition aux moisissures dans les établissements scolaires et l'asthme et symptômes évocateurs d'asthme chez l'enfant ;
- 14 publications correspondaient à des revues de la littérature :
 - o 5 étaient orientées sur des problématiques spécifiques de santé (2 sur les maladies allergiques et respiratoires et 3 sur les questions de bien-être et d'apprentissage des enfants) ;
 - o 4 étaient orientées sur des polluants ou un thème en particulier (1 sur les hydrocarbures aromatiques polycycliques et particules, 2 sur les allergènes et 1 sur le lien entre ventilation et qualité de l'air intérieur) ;
 - o 1 portait globalement sur les résultats des études consacrées à la qualité de l'air dans les établissements scolaires et à la santé ;
 - o 4 concernaient des résultats d'intervention.

2.2.2 Périmètre de l'étude de faisabilité

2.2.2.1 Couples polluants-effets retenus

Les éléments issus de la littérature, les échanges avec les acteurs et le contexte français ont permis d'identifier 4 sujets prioritaires au regard des données disponibles et des attentes exprimées :

- Répercussions d'une pollution chimique, biologique et particulaire sur la santé respiratoire des enfants, notamment l'asthme, et plus spécifiquement :
 - du formaldéhyde issu principalement de sources intérieures ;
 - des polluants issus du trafic routier, et notamment le NO₂ et les PM_{2,5} à proximité des établissements scolaires en milieu urbain ;
 - des moisissures ;
- Répercussions sanitaires de paramètres dits « de confort » dans les établissements scolaires et notamment des problèmes de renouvellement d'air sur l'apprentissage des enfants (troubles cognitifs, troubles de la concentration...).

Concernant les répercussions des polluants issus du trafic, seul le NO₂ a été retenu. Il est en effet considéré comme le meilleur traceur pour étudier les effets sur la santé associés au trafic [10], alors que plusieurs sources externes et internes peuvent influencer les concentrations en PM_{2,5} [18]. Les PM_{2,5} et le NO₂ étant issus en partie de la même source d'émission, il existe un risque de double comptage et de surévaluation de leur influence s'ils sont pris conjointement. Les effets estimés dans le cadre de ce travail sont donc induits par le NO₂ mais aussi en grande partie par les polluants associés au NO₂ (particules ultrafines, carbone suie, composés organiques volatils...).

Concernant l'influence du renouvellement de l'air sur l'apprentissage des enfants, ce sujet a souvent été évoqué dans les entretiens et des associations ont été mises en évidence dans la littérature entre le CO₂ (mesure du confinement de l'air) et les troubles cognitifs des enfants [19]. Par ailleurs, d'après la Campagne nationale École de l'OQAI, près de la moitié des écoles françaises présentent un confinement d'air très élevé voire extrême [4]. En dépit du caractère pertinent de ce couple, l'analyse des résultats de la première recherche bibliographique suggère qu'une analyse approfondie de la littérature, voire l'acquisition de données complémentaires, est nécessaire pour mieux comprendre le rôle de la QAI sur les questions d'apprentissage et de cognition de l'enfant avant d'envisager une ÉQIS sur ce sujet.

Enfin, parmi les pathologies respiratoires, l'asthme a été la pathologie respiratoire la plus citée dans les entretiens et la littérature. Il s'agit par ailleurs d'une des maladies chroniques les plus répandues chez les enfants⁴ et donc largement connue. Il a ainsi été décidé de se focaliser sur cette pathologie.

En définitive, l'étude de faisabilité a donc porté sur les couples formaldéhyde et asthme, NO₂ et asthme ainsi que moisissures et asthme.

2.2.2.2 Population d'étude, types d'exposition et d'effets

Plusieurs éléments ont été considérés pour préciser les priorités en termes de population d'étude ainsi que d'effets et d'exposition.

Le diagnostic d'asthme est rarement porté avant l'âge de 5-6 ans. En effet, avant cet âge, il est difficile de distinguer les sifflements survenant lors d'une infection virale et la maladie asthmatique, maladie inflammatoire des bronches. Chez l'enfant plus âgé, la réalisation de tests de la fonction respiratoire permet de confirmer le diagnostic d'asthme [20]. **Dans un objectif de quantification, les conséquences de la qualité de l'air des écoles sur l'asthme de l'enfant et les données disponibles chez l'enfant de plus de 6 ans ont donc été considérées en première intention.**

Lorsque l'on s'intéresse à l'effet de la pollution sur l'asthme, il est possible de considérer les effets à long terme, caractérisés par la prévalence et l'incidence d'asthme et les effets à court terme, c'est-à-dire la survenue de symptômes respiratoires et d'exacerbations de la maladie chez une personne souffrant d'asthme. La connaissance des effets de l'exposition à la pollution dans les établissements sur le développement de l'asthme de l'enfant est encore limitée. La plupart des études portant sur ces environnements sont des études transversales basées sur des indicateurs de prévalence en raison de la complexité de réaliser des mesures répétées dans ces environnements. Quelques études reposant sur des approches par modélisation à l'adresse de l'école sont disponibles. Cette estimation est souvent considérée comme un proxy de l'exposition globale de l'enfant en raison de la proximité souvent fréquente entre le domicile et l'école. Peu d'entre elles évaluent la portée de l'exposition à l'école sur le développement de l'asthme indépendamment de celui de l'exposition au domicile [8, 9].

Des différences d'exposition peuvent exister entre l'intérieur et l'extérieur des bâtiments (salles de classe versus cours de récréation par exemple) et le type d'établissements (écoles maternelles et élémentaires, collèges, lycées). Au-delà des concentrations mesurées, le temps passé dans ces environnements peut également varier, notamment en fonction des niveaux scolaires (durée d'enseignement, changement de salles de classe au cours de la journée...). Les collectivités chargées de ces établissements ne sont pas non plus les mêmes (ville, département, région) et les données disponibles peuvent différer.

Les expositions dans mais aussi autour des établissements ont été considérées ainsi que les effets à court et long terme. Néanmoins, pour l'analyse des fonctions concentration-risque disponibles pour les effets à long terme, les données sur la prévalence de l'asthme ont été considérées en première intention. Cela semble d'autant plus pertinent dans un objectif d'évaluer l'influence de l'exposition d'un type d'établissement, la durée d'exposition étant alors limitée (entre trois et cinq ans selon le niveau scolaire).

⁴ <https://www.who.int/respiratory/asthma/fr/>

2.2.3 Disponibilité des prérequis à la mise en œuvre d'ÉQIS

2.2.3.1 Relation causale

Formaldéhyde et asthme de l'enfant

Il a été démontré que les vapeurs de formaldéhyde pouvaient induire une irritation des voies respiratoires et des muqueuses oculaires (HCSP 2019). Plusieurs études ont mis en évidence des liens entre l'exposition prolongée au formaldéhyde et des effets allergiques et/ou respiratoires [21]. Le formaldéhyde pourrait agir par des mécanismes allergiques ou par des mécanismes irritatifs non spécifiques.

- Mécanismes allergiques

Le formaldéhyde avec son poids moléculaire faible serait susceptible de réagir avec certaines protéines pour former un antigène capable de stimuler la production d'anticorps spécifiques [22]. Il pourrait agir également comme cofacteur de la sensibilisation Immunoglobuline E (IgE) dépendante [23, 24].

- Mécanismes irritatifs non spécifiques

Le formaldéhyde pourrait provoquer une inflammation de la muqueuse des voies respiratoires et ainsi conduire à une réponse dominée par les lymphocytes TH2 et la production de cytokines typiquement associés à l'asthme [22]. Il pourrait également altérer la biologie des thiols et conduire à une réduction du bronchodilatateur endogène S-nitrosogluthathione [25].

Les résultats des études épidémiologiques sont cependant encore controversés et le rôle exclusif du formaldéhyde dans ces phénomènes, en raison notamment de l'influence d'autres COV, reste questionné [26, 27]. Pour ces raisons, l'Anses a considéré, lors de la mise à jour de la valeur guide de l'air intérieur en 2018, que la relation entre la survenue d'asthme et l'exposition au formaldéhyde n'était pas à ce jour avérée [26]. Des revues publiées après cette date ont mis en évidence une association significative entre une exposition au formaldéhyde et la prévalence d'asthme actuel chez l'enfant [28-30]. En 2021, Lam *et al.* ont notamment conclu sur la base d'une revue systématique de la littérature que le niveau de preuves de l'association entre l'exposition durant l'enfance au formaldéhyde et le diagnostic ainsi que les symptômes d'asthme était suffisant [29]. Actuellement, dans son *draft* soumis à consultation publique, l'US-EPA (*United States Environmental Protection Agency*) indique que l'inhalation au formaldéhyde entraîne probablement un risque accru de symptômes d'asthme prévalent, sur la base d'un niveau modéré de preuves humaines et d'un niveau faible des effets chez l'animal à partir d'études mécanistiques soutenant la plausibilité biologique [21]. Il est néanmoins précisé que le niveau d'évidence défini est plutôt basé sur des études où les moyennes de concentrations à l'école et à domicile se situent entre 0,03 et 0,1 mg/m³. La linéarité de la relation concentration-risque reste également à confirmer [31].

NO₂ et asthme de l'enfant

Le NO₂ est un gaz pouvant induire des effets sur la fonction respiratoire. Il peut être transformé en acide nitrique et induire des lésions des cellules pulmonaires, il génère la création de radicaux libres et altère la fonction immunitaire [32]. Lorsqu'il est inhalé, le NO₂ déclenche des dommages extracellulaires au sein des voies respiratoires. Il déclenche un stress oxydatif qui peut causer des œdèmes ou une encore une bronchoconstriction. Les propriétés irritantes de ce polluant ont été démontrées. D'après l'US-EPA, une exposition à court terme et à long terme au NO₂ peut provoquer des effets respiratoires et exacerber l'asthme chez l'enfant [33].

Moisissures et asthme de l'enfant

Les mécanismes par lesquels les expositions aux moisissures contribuent à l'apparition d'effets néfastes sur la santé sont largement méconnus [34]. Néanmoins, l'Anses a récemment conclu, à la suite d'un travail d'expertise sur les moisissures dans le bâti, que les preuves d'une relation causale entre l'exposition aux moisissures du bâti et le développement de l'asthme chez l'enfant d'une part, et la survenue d'exacerbations de l'asthme chez l'enfant asthmatique d'autre part, étaient suffisantes [35].

2.2.3.2 Relations concentration-risque identifiées

Résultat de la recherche bibliographique

Sur la base des articles identifiés via la recherche initiale et les recherches complémentaires, 33 articles ont été inclus pour analyse de la robustesse et de l'applicabilité (Figure 4). La cohérence au contexte de notre travail a été précisée au regard des priorités évoquées ci-dessus en termes de population et de type d'effet et d'exposition ainsi qu'au regard de la zone géographique et du type de lieux desquels étaient issues les données. Ainsi :

- Pour le formaldéhyde

Dans la mesure où il s'agit d'un polluant chimique, toutes les études ont été jugées comme applicables dans la mesure où les concentrations en polluants étaient proches et le contexte non spécifique.

- Pour le NO₂

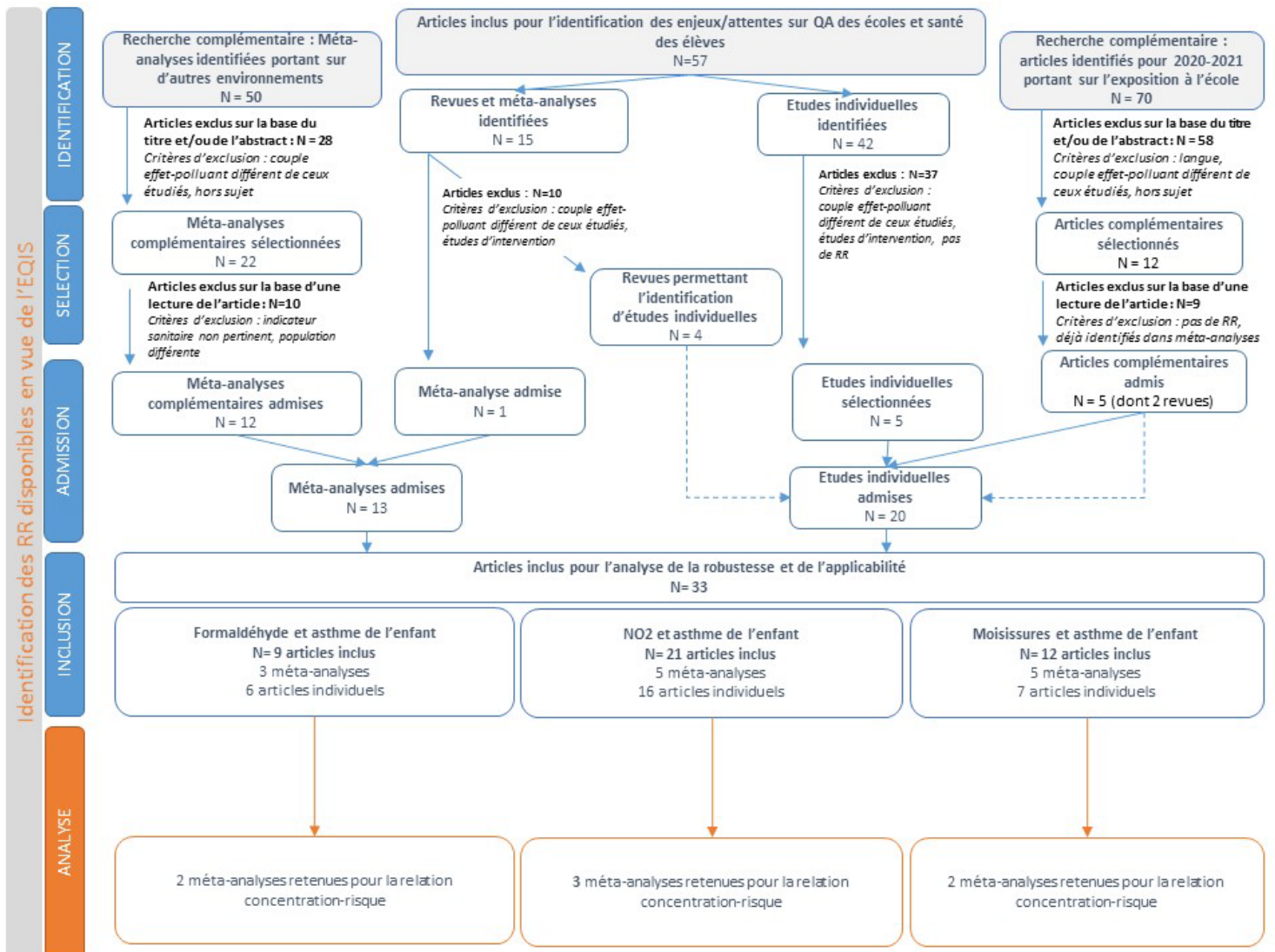
Il a été considéré que les relations C-R pouvaient être différentes dans les pays éloignés de la France en termes de mode de vie. En effet, ces relations peuvent également refléter également l'impact d'autres polluants et notamment des PM_{2,5}, ces deux polluants ayant des sources communes. Or la composition des particules, et donc leurs effets, peut différer en fonction de la source de pollution. Les études réalisées dans des pays européens et nord-américains avec des concentrations de NO₂ similaires à ceux observés en France ont donc été considérées comme applicables, alors que l'applicabilité des études réalisées en dehors de ces zones avec des concentrations similaires a été jugée plus limitée.

- Pour les moisissures

Il a été considéré que le type de moisissures, et donc les effets sur la santé qui en découlent, pouvait différer en fonction des pays. Seules les données issues d'études européennes ont donc été considérées comme applicables. Par ailleurs, contrairement aux polluants chimiques, le type de moisissures peut être différent entre le domicile et l'école. Néanmoins, la plupart des études épidémiologiques considèrent la présence/absence de moisissures comme indicateur d'évaluation de l'exposition. Les études portant sur l'exposition au domicile ont été considérées en seconde intention néanmoins pertinentes lorsqu'aucune relation C-R robuste et spécifique à l'école n'a été identifiée. L'hypothèse de la transposabilité de la relation C-R à l'environnement scolaire a donc été retenue.

Les conclusions issues de l'analyse de ces articles pour chacun des couples polluants-effets sont présentées ci-dessous, le détail étant précisé en Annexe 3.

Figure 4 : Sélection des articles en vue de l'identification des RR disponibles



Formaldéhyde et asthme de l'enfant

Dix articles ont été inclus pour analyse des fonctions concentration-risque.

Deux méta-analyses portant sur le lien entre l'exposition au formaldéhyde spécifiquement à l'école et l'asthme de l'enfant ont été identifiées. La méta-analyse la plus récente datant de 2020 [30] n'a pas été retenue en raison du manque de robustesse et de l'erreur faite par les auteurs dans le calcul de l'OR (voir Annexe 3). Celle de McGwin *et al.* de 2010 n'a été retenue uniquement pour d'éventuelles analyses de sensibilité au vu du nombre limité d'études sur lesquelles elle reposait (N=4) [36]. L'OR de 1,33 (IC95 % [1,02 ; 1,74]) avait été estimé en lien avec le diagnostic d'asthme chez l'enfant. La méta-analyse de Lam *et al.* (2021) portant sur l'exposition au formaldéhyde à l'école et au domicile et le diagnostic d'asthme chez l'enfant a été jugée plus robuste et a donc été retenue (OR : 1,20 [1,02 ; 1,41] pour une augmentation de 10 µg/m³) [29]. Les gammes de concentrations des études individuelles de ces méta-analyses étaient comparables à celles observées en France.

Aucune fonction C-R n'était disponible pour les effets à court terme ou pour l'incidence de l'asthme.

NO₂ et asthme de l'enfant

Vingt et un articles ont été inclus pour analyse.

Aucun méta-risque spécifique à l'exposition au NO₂ à l'école, que ce soit dans les établissements ou à proximité de ceux-ci, et la prévalence ou l'incidence d'asthme n'était disponible. En ce qui concerne l'exposition en intérieur, la recherche bibliographique a néanmoins permis d'identifier une méta-analyse portant sur l'exposition au NO₂ dans les logements et l'asthme chez l'enfant mais elle n'a pas été retenue par manque de robustesse et une applicabilité limitée [37]. En ce qui concerne une exposition à proximité des établissements scolaires, le méta-risque de Khreis *et al.* (2017) recommandé dans le guide ÉQIS-PA de Santé publique France [10, 38] et portant sur l'exposition au trafic routier (TRAP) en milieu extérieur et la prévalence et/ou l'incidence de l'asthme a été retenu pour les enfants de 0 à 17 ans (OR : 1,13 [1,05-1,18]). L'étude de Han *et al.* (2021) a également été identifiée pour d'éventuelles analyses de sensibilité et notamment le méta-risque estimé spécifiquement dans les études européennes (OR : 1,09 [1,03 ; 1,15] pour une augmentation de 10 µg/m³ de NO₂) [39] ainsi que le méta-risque spécifiquement calculé par Host *et al.* (OR : 1,054 [1,013 ; 1,097]) [40].

Par ailleurs, dix études individuelles portant spécifiquement sur les environnements scolaires ont été retenues car jugées suffisamment robustes. Ces études reposaient soit sur une évaluation de l'exposition à l'adresse des écoles sur la base d'une modélisation (N=4), soit sur des mesures dans les cours d'écoles, soit sur des mesures dans les salles de classe (N=6) et considéraient la prévalence de l'asthme ou de sifflements dans les douze derniers mois (N=8) voire l'incidence de l'asthme (N=1). Elles ont été considérées pour la construction d'éventuels nouveaux méta-risques mais qui n'ont pas été retenus en raison d'une robustesse et d'une applicabilité jugées limitées.

Pour les effets à court terme, aucune donnée n'était disponible en lien avec une exposition spécifique à l'école. Le RR proposé dans le guide ÉQIS-PA en lien avec les passages aux urgences pour crise d'asthme chez les 0-18 ans a été retenu en vue d'une éventuelle ÉQIS liée à l'exposition au NO₂ à proximité des écoles [10, 40].

Moisissures et asthme de l'enfant

Douze articles ont été inclus pour analyse.

La méta-analyse de Fisk *et al.* de 2019 [41] portant spécifiquement sur l'exposition à l'école ne mettait pas en évidence d'association significative entre des signes visibles de moisissures ou d'humidité et la prévalence des sifflements dans les douze derniers mois (OR : 1,88 [0,66-5,37]). L'association avec la prévalence d'asthme exclusivement chez l'enfant n'avait pas été estimée faute de données. Par ailleurs, les méta-risques estimés en considérant l'enfant et l'adulte conjointement étaient associés à une forte hétérogénéité des études. Deux autres méta-analyses en lien avec l'exposition à domicile ont été identifiées et jugées suffisamment robustes [42, 43]. L'étude d'Antova présentait l'avantage d'être plus cohérente avec notre population d'étude et a donc été retenue pour l'analyse principale. Elle reposait sur les données de 12 études transversales chez l'enfant de 6 à 12 ans menés en Russie, en Amérique du Nord et dans 10 pays de l'Europe de l'Est et de l'Ouest. Elle permettait de disposer d'un OR portant sur la présence récente de moisissures visibles dans le logement (N=7) et le risque de sifflements dans les douze derniers mois chez l'enfant (OR : 1,46 IC95 % [1,31 ; 1,61]) et d'un autre en lien avec l'asthme vie (OR : 1,23 IC95 % [1,07 ; 1,41]). La méta-analyse de Fisk *et al.* (2007), reposant sur 33 études, a été identifiée pour des éventuelles analyses de sensibilité (OR : 1,53 95 % IC [1,36 ; 1,68] pour l'association entre les sifflements chez l'enfant dans les douze derniers mois et la présence de signes d'humidité dans le logement) (N=17). Ces études ont été privilégiées et jugées plus robustes à celles

portant sur l'exposition des enfants et adultes en milieu scolaire, conformément à l'hypothèse de transposabilité de la relation concentration-risque évoquée précédemment. Cette hypothèse est confortée par ailleurs par le fait que des associations significatives entre la présence de moisissures et l'asthme de l'enfant ont également été identifiées dans différentes études considérant l'exposition à l'école [44-46].

Aucune fonction concentration-risque n'était disponible pour les effets à court terme. Pour ce qui est de l'incidence de l'asthme, seules des études considérant les premières années de vie ont été publiées [47, 48]. Elles n'ont donc pas été retenues.

2.2.3.3 Indicateurs de santé et données environnementales mobilisables en France

Plusieurs sources de données ont été identifiées pour renseigner les indicateurs. Les caractéristiques de ces sources (méthodes et années de recueil, échelle géographique, disponibilité...) ont été décrites en Annexe 4 du présent document. Les forces et limites des indicateurs de santé produits ont également été identifiées. Ne sont reprises ci-dessous que les conclusions quant aux indicateurs retenus.

Indicateurs de santé liés à l'asthme

Afin d'assurer la cohérence avec les estimations des relations concentration-risque issues des études épidémiologiques, les indicateurs de santé liés à l'asthme recensés ont été scindés en deux catégories : d'une part, les indicateurs d'effets à court terme (exacerbations d'asthme) et, d'autre part, les indicateurs d'effets à long terme liés à l'incidence/prévalence de l'asthme ou de symptômes évocateurs d'asthme.

À l'issue de l'analyse des sources de données, deux sources ont été retenues pour renseigner les indicateurs d'incidence/prévalence d'asthme ou de symptômes évocateurs d'asthme :

- Les enquêtes nationales de santé en milieu scolaire

Ces enquêtes transversales de périodicité biennale pilotées par la Direction de la recherche des études de l'évaluation et des statistiques (Drees) sont conduites alternativement en classe de grande section de maternelle, CM2 et troisième. Elles permettent de disposer d'une estimation au niveau national de la prévalence d'asthme et de symptômes associés (notamment les sifflements dans les douze derniers mois). Les dernières données disponibles pour les classes de CM2, correspondant aux âges visés dans notre étude, datent de 2014 et de 2015 [49].

- Les données du SNDS-Sniiram

Ces données, portant sur les remboursements de soins (dont les remboursements de médicaments) par l'assurance maladie, permettent notamment de repérer les personnes ayant bénéficié d'un remboursement de médicaments de la classe ATC R03 (médicaments pour les syndromes obstructifs des voies aériennes) pour différentes échelles géographiques. Elles nécessitent néanmoins la construction d'un algorithme d'identification des personnes asthmatiques traitées.

Concernant les exacerbations d'asthme, les deux sources de données identifiées sont :

- Les données de recours aux urgences pour asthme issues du système de surveillance syndromique SurSaUD® (Système de Surveillance sanitaire des urgences et des décès). Ces données sont disponibles en temps quasi réel (J+1) et sont applicables du niveau national ainsi qu'à la commune (code Insee), tout âge confondu ;

- Les données sur les séjours hospitaliers pour asthme effectués dans les hôpitaux publics ou privés dans les secteurs de Médecine, Chirurgie, Obstétrique et Odontologie (MCO) qui sont issues du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). Ces données sont disponibles en juillet de l'année n pour l'année n-1 et applicables de l'échelle nationale jusqu'à la commune (ou regroupement de communes pour les petites communes).

Données environnementales

Au regard des relations C-R sélectionnées, deux types d'indicateurs ont été distingués :

- Les indicateurs d'exposition liés à la qualité de l'air à l'intérieur des établissements scolaires, basés sur des mesures des concentrations hebdomadaires de polluants dans les salles de classe.
- Les indicateurs d'exposition liée à la qualité de l'air à proximité des établissements scolaires, basés sur des concentrations dans l'air ambiant.

Concernant les concentrations dans les établissements scolaires, deux sources de données sont disponibles :

- Les données issues de la surveillance obligatoire de la qualité de l'air intérieur des établissements recevant du public (ERP). Néanmoins, les collectivités ayant la possibilité de choisir entre un autodiagnostic ou des mesures, ces mesures ne sont disponibles que pour certains territoires ;
- Les données issues de la Campagne nationale Écoles (2013-2017) de l'OQAI. Cette étude permet ainsi de disposer de mesures hebdomadaires dans les salles de classe d'un échantillon tiré au sort et représentatif des écoles primaires de France métropolitaine, ainsi que de la constatation par l'enquêteur de signes de moisissures ou d'humidité. Ces données présentent l'avantage d'être extrapolables à l'ensemble du parc des écoles françaises mais ne permettent pas de disposer d'une information à une échelle infranationale.

Concernant les concentrations à proximité des établissements scolaires, les estimations reposent généralement sur des mesures des concentrations par les stations fixes les plus proches ou sur une modélisation à l'adresse de l'établissement. En France, ces données sont produites par les Associations agréées de la surveillance de la qualité de l'Air (AASQA) à différentes échelles géographiques et temporelles pour le NO₂. L'approche basée sur la modélisation semble plus pertinente dans le cadre de notre étude pour pouvoir évaluer spécifiquement l'exposition des enfants scolarisés. Au-delà de ces données, des campagnes spécifiques appliquées, notamment par les collectivités, au sein d'un ou plusieurs établissements scolaires de leur secteur peuvent également permettre de disposer d'informations sur la qualité de l'air des salles de classe. Néanmoins les caractéristiques des mesures réalisées sont variables d'une campagne à l'autre et il n'existe pas, à l'heure actuelle de base de données recensant l'ensemble des données collectées.

2.2.3.4 Synthèse

Les tableaux 1 et 2 ci-dessous synthétisent les informations identifiées pour réaliser des ÉQIS sur la pollution de l'air des établissements scolaires et l'asthme de l'enfant. Un code couleur a été attribué :

- En fonction du niveau de preuve pour la relation causale ;
- Au regard de la robustesse et de l'applicabilité des études retenues dans le contexte de notre travail ;
- Par rapport à la disponibilité des indicateurs identifiés et leurs limites en vue de la réalisation d'une ÉQIS.

Considérant la classification définie dans le guide ÉQIS de Santé publique France [10], ces couples polluants-effets sont donc associés à la catégorie B c'est-à-dire les couples pour lesquels il y a davantage d'incertitude ou pour lesquels la disponibilité des données pour quantifier les effets n'est pas forcément garantie⁵.

⁵ Classification en deux catégories, la A étant les couples polluants-effets pour lesquels le niveau d'incertitude sur la transposabilité du risque est faible et pour lesquels on dispose de suffisamment de données pour permettre une quantification fiable des effets.

Tableau 1 : Conclusions sur les relations causales et synthèse des RR retenus pour l'établissement de la relation concentration-risque

	Relation causale		Relations concentration-risque retenues				Niveau de confiance (robustesse/applicabilité)
	Conclusion	Niveau de preuve	Type d'exposition	Type d'effets	Valeur*	Source	
FORMALDÉHYDE	Lien de causalité avec le développement de l'asthme non confirmé [26] mais preuves modérées avec le risque accru de symptômes d'asthme prévalents [21]. Incertitudes néanmoins plus fortes pour les faibles concentrations.	Limitée	Exposition intérieure (=> dans les établissements scolaires)	CT	Pas de fonction C-R identifiée		
				LT (prévalence)	1,20 [1,02;1,41]	Méta-analyse de Lam <i>et al.</i> (2021) [29] : exposition intérieure (domicile et école) au formaldéhyde et prévalence de l'asthme diagnostiqué chez l'enfant (N=9)	Acceptable
					1,33 [1,02 ;1,74]	Méta-analyse de McGwin <i>et al.</i> (2010) [36] : exposition intérieure au formaldéhyde dans les écoles et prévalence de l'asthme diagnostiqué chez l'enfant (N=4)	Limitée
NO ₂	Preuves d'une relation causale suffisante avec l'exacerbation et le développement de l'asthme [33]	Bonne	Exposition extérieure (=> à proximité des établissements scolaires)	CT (passages aux urgences)	1,0101 [0,99 -1,02]	Méta-analyse réalisée par Host <i>et al.</i> (2018) # [40] : exposition ambiante au NO ₂ et recours aux urgences pour asthme chez l'enfant (N=4)	Limitée
				LT (incidence)	1,13 [1,05 ; 1,18]	Méta-analyse de Khreis <i>et al.</i> (2017)# [38] : exposition à l'adresse de l'école/du domicile au trafic routier (TRAP) et incidence de l'asthme de l'enfant de 0 à 17 ans (N=20)	Acceptable
					1,09 [1,03 ;1,15]	Méta-analyse de Han <i>et al.</i> (2021) [39] : exposition à l'adresse de l'école/du domicile au trafic routier (TRAP) et incidence de l'asthme de l'enfant de 0 à 17 ans (N=12)	Acceptable
					1,054 [1,013 ; 1,097]	Méta-risque de Host <i>et al.</i> (2018) [40] : exposition au NO ₂ et survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant de 0 à 17 ans (N=6)	Acceptable
MOISSISSURES	Preuves d'une relation causale suffisante avec l'exacerbation et le développement de l'asthme [35]	Bonne	Exposition intérieure (=> dans les établissements scolaires)	CT	Pas de fonction C-R identifiée		
				LT (prévalence)	Sifflements 12 derniers mois : 1,46 [1,31-1,61] Asthme vie : 1,23 [1,07 ; 1,41]	Méta-analyse d'Antova <i>et al.</i> (2008) [42] : présence récente de moisissures visibles dans le logement et prévalence de sifflements dans les 12 derniers mois et d'asthme vie chez l'enfant (N=7).	Acceptable
					Sifflements 12 derniers mois 1,53 [1,39 ; 1,68]	Méta-analyse de Fisk <i>et al.</i> (2007) [43] : présence de moisissures à domicile et prévalence de sifflements dans les 12 derniers mois chez l'enfant (N=17)	Limitée

CT/LT = court terme/long terme ;

* Pour un incrément de 10 µg/m³ pour le formaldéhyde et le NO₂ et absence/présence pour les moisissures. #Fonctions C-R recommandées dans le guide ÉQIS-PA de Santé publique France [10]

■ Bonne ■ Limitée
■ Acceptable ■ Mauvaise

Tableau 2 : Synthèse des indicateurs identifiés en vue d'une ÉQIS sur QA des établissements scolaires et asthme de l'enfant

Type	Indicateurs	Sources de données	Année	Disponibilité géographique/temporelle	Limites principales
Indicateurs environnementaux					
Air intérieur	Concentrations dans les salles de classe	Données de surveillance réglementaire	A partir de 2016-2017	Zone spécifique/Année donnée	Représentativité temporelle et géographique, volontariat
		Données de la Campagne Nationale Écoles	2013-2017	National/Année donnée	Représentativité temporelle, échantillonnage
Air extérieur	Concentrations à l'adresse de l'établissement	Données AASQA modélisées	Disponible N-1	Local/Plusieurs années	Modélisation
Indicateurs sanitaires					
Court terme : Exacerbations	Passage aux urgences pour asthme	Données SURSAUD	Disponible N-1	Local/Plusieurs années	
	Hospitalisation pour asthme	Données SNDS/PMSI	Disponible N-2	Local/Plusieurs années	Variabilité de participation selon les régions
Long terme : Nombre de cas	Prévalence asthme + symptômes et traitements 12 derniers mois	Enquêtes nationales en milieu scolaire	2014-2015	National/Année donnée	Données issues d'un échantillon d'enfants
	Mise sous traitement	Données SNDS-SNIRAM	Disponible N-1	Local/Plusieurs années	Mise sous traitement et non prévalence d'asthme

■ Bonne ■ Limitée
■ Acceptable ■ Mauvaise

2.3 Discussion sur la pertinence et la faisabilité d'ÉQIS centrées sur la QA des établissements scolaires

2.3.1 Une démarche d'intérêt

Plusieurs travaux réalisés en France mettent en évidence que les enfants sont exposés à différents polluants de l'air dans les établissements scolaires. Pour certains d'entre eux, des associations significatives ont été identifiées dans les études épidémiologiques liées à la santé de l'enfant, notamment la santé respiratoire. Même si ces données restent encore limitées comparées à celles sur l'air ambiant, quantifier les effets de cette pollution permettra de recueillir des éléments pour mieux appréhender le fardeau sanitaire qu'elle représente et ainsi favoriser sa prise en compte. La crise sanitaire due à l'épidémie de Covid-19 a permis de mettre en lumière la question de qualité de l'air des établissements scolaires. Les données de la littérature rappellent néanmoins que les risques ne sont pas qu'infectieux et qu'il est donc nécessaire que les pratiques installées perdurent au-delà de la crise. Cela semble d'autant plus important au vu des campagnes de rénovation énergétique du bâti scolaire qui s'annoncent afin que les enjeux de QAI soient intégrés.

Les données identifiées dans le cadre de ce travail confirment l'enjeu que représente la qualité de l'air des établissements scolaires. Les échanges réalisés ont mis en évidence le besoin d'une meilleure prise de conscience des acteurs, notamment ceux directement impliqués par la gestion de ces structures (personnels et élus des collectivités, personnels de l'éducation...). Les ÉQIS réalisées depuis plusieurs années par Santé publique France ont confirmé l'intérêt de ce type d'approches pour sensibiliser les parties prenantes et guider l'action. Cibler les établissements scolaires pour déployer des ÉQIS pourrait donc permettre de contribuer à convaincre les acteurs concernés d'agir. Néanmoins, en ce qui concerne une approche visant à évaluer les conséquences de la pollution liée à la présence de trafic routier à proximité des établissements scolaires, il conviendra de s'interroger sur la pertinence de décliner des ÉQIS spécifiques par rapport à celles déjà menées sur la pollution de l'air dans la mesure où les acteurs ciblés sont les mêmes.

Trois couples effets-polluants sont envisageables à ce stade pour mener des premières ÉQIS en raison du nombre limité de fonctions C-R disponibles. En ce qui concerne les effets, seul l'asthme de l'enfant peut être pris en compte. Or, au-delà des conséquences sur la santé respiratoire, des associations avec d'autres pathologies (non respiratoires) ont également été identifiées en lien avec la QA des établissements scolaires, même si moins documentées [5-7]. En France, l'enquête nationale de santé en milieu scolaire de 2007-2008 a évalué à 14,4 % le pourcentage d'enfants de CM2 ayant eu de l'asthme dans leur vie ; ce chiffre était de 12,3 % en 2014-2015 [50]. La prévalence de cette maladie chez l'enfant a en effet considérablement augmenté depuis la seconde moitié du XX^e siècle, principalement dans les pays industrialisés [51, 52]. L'exposition des enfants à la pollution de l'air des établissements scolaires a notamment été évoquée comme une des raisons pouvant expliquer ces augmentations [17]. En ce qui concerne les polluants, l'étude de faisabilité s'est limitée au formaldéhyde, au NO₂ et aux moisissures. L'intérêt de ces trois polluants réside dans les sources très différentes desquelles ils sont issus. D'autres polluants font l'objet de préoccupation ces dernières années, notamment les particules fines, également citées lors des entretiens avec les acteurs, mais ils n'ont pas été considérés en raison du risque de redondance avec le NO₂ et de la meilleure pertinence de ce polluant comme marqueur du trafic (les particules pouvant provenir d'une plus grande diversité de sources). L'influence de ces particules ne doit néanmoins pas être négligée et les données de la Campagne nationale École de l'OQAI ont mis en évidence leur omniprésence dans ces environnements [4]. Ainsi, 96 % des écoles présentaient des concentrations supérieures à la valeur guide 2005 proposée par l'OMS [53]. Les études disponibles évaluant les associations entre l'exposition aux particules dans les salles de classe

et l'asthme de l'enfant sont encore peu nombreuses ; des données complémentaires restent donc à acquérir pour aller plus loin.

Quoi qu'il en soit, l'objectif à ce stade n'est pas de quantifier le fardeau sanitaire que représente la pollution de l'air dans et autour des établissements scolaires. Même avec un nombre limité de polluants et d'effets pris en compte, des premières estimations peuvent aider à la prise de conscience des conséquences de la qualité de ces environnements sur la santé des enfants et favoriser voire guider l'action. L'asthme touche par ailleurs aujourd'hui plus de 4 millions de personnes en France avec un coût moyen de cette pathologie estimé récemment à 757 euros par patients et par an chez l'adulte [54]. Ces premières estimations représentent donc un vrai intérêt en matière de santé publique même si elles ne représentent qu'une part de cet impact.

2.3.2 Premières ÉQIS à lancer

Il apparaît donc pertinent de lancer les premières ÉQIS sur le sujet. Au vu des données identifiées deux approches sont à envisager :

- **La première pourrait avoir pour objectif d'évaluer l'effet d'une amélioration de la qualité de l'air dans les salles de classe des écoles élémentaires – en considérant les concentrations en formaldéhyde et la présence de moisissures – sur la prévalence de l'asthme de l'enfant de 6 à 11 ans.** Cette approche ne considérerait pas l'exposition au NO₂ dans la mesure où les données en lien avec l'exposition dans les salles de classe ne sont pas suffisantes et que celles portant sur une exposition à domicile n'ont pas été jugées suffisamment robustes et/ou applicables pour aller vers une quantification de l'effet. La population serait limitée aux 6-11 ans afin de pouvoir communiquer sur la survenue d'asthme. Cette ÉQIS permettrait de sensibiliser les municipalités chargées des écoles, mais aussi les utilisateurs, à l'importance d'une bonne qualité de l'air dans les salles de classe. Au vu des indicateurs sanitaires et environnementaux recensés, cette ÉQIS est à envisager dans un premier temps à un niveau national, en s'appuyant sur les résultats de l'Enquête nationale en milieu scolaire pour estimer la prévalence de l'asthme de l'enfant d'une part et à ceux de la Campagne nationale Écoles de l'OQAI pour évaluer l'exposition à la pollution des enfants scolarisés d'autre part. En effet, les indicateurs de prévalence utilisés dans le cadre des études épidémiologiques desquelles sont issues les fonctions C-R retenues sont généralement estimés à partir de données de questionnaires standardisés. Par cohérence, les données issues des enquêtes nationales en milieu scolaire, également issues de questionnaires standardisés, sont donc privilégiées.
- **La deuxième s'intéresserait aux bénéfices d'une réduction de l'exposition aux polluants issus du trafic routier présent à proximité des établissements scolaires – en considérant le NO₂ comme marqueur de cette pollution – sur l'asthme de l'enfant.** Cette approche reposerait sur une exposition des enfants durant l'ensemble du cursus scolaire, voire également des crèches, permettant ainsi d'envisager une quantification de l'effet sur le développement de l'asthme de l'enfant en plus des effets à court terme. Elle permettrait de sensibiliser les collectivités sur l'importance de mieux prendre en compte ce type d'exposition et ainsi favoriser la mise en place d'actions visant à réduire les expositions à proximité de ce type d'établissements. Elle permettrait aussi d'étudier l'apport de ce type d'approche par rapport à des ÉQIS-PA plus classiques. Au vu de la cible (collectivités), il semble préférable de décliner cette ÉQIS au niveau local dans un premier temps. Elle pourrait alors s'appuyer sur une estimation de l'exposition sur la base d'une approche par modélisation et les données de remboursement des médicaments (données du DCIR-SNDS) permettant de disposer d'indicateurs à une échelle géographique infrarégionale. À noter qu'un travail est en cours au niveau européen dans le cadre du projet EMAPEC (*Estimating the Morbidity from Air Pollution and its Economic Costs*) pour mettre à jour des fonctions concentration-risque disponibles pour différents

polluants de l'air extérieur. Les conclusions de ce travail seront à considérer en complément des fonctions retenues ici.

2.3.3 Des limites à ne pas négliger

Plusieurs limites quant aux données disponibles à l'heure actuelle ont été identifiées via ce travail de recensement et il convient de les considérer lors de la réalisation de ces premières ÉQIS.

Concernant les relations concentration-risque, il existe encore des incertitudes sur le lien entre exposition au formaldéhyde et asthme de l'enfant, que ce soit par rapport à la nature causale de ce lien ou à la forme de la relation, notamment aux faibles concentrations [21]. En raison de ces incertitudes, plusieurs auteurs ont fait le choix de ne pas appliquer la relation pour des concentrations inférieures à des valeurs comprises dans une gamme de concentration variant de 20 à 100 µg/m³ [55-57]. Par ailleurs, les estimations disponibles sur le lien entre l'exposition à la pollution dans les établissements scolaires et l'asthme de l'enfant (faible nombre d'études sur lesquelles se base le calcul des méta-risques ou qualité limitée des études individuelles comparées aux données disponibles sur d'autres environnements) nécessitent d'être consolidées. L'estimation de la relation concentration-risque est de plus entourée d'une forte incertitude (intervalle de confiance large) et ne permet pas une évaluation robuste et fine de l'effet sur la santé. Certaines limites des études épidémiologiques sur lesquelles reposent ces relations sont également à prendre en compte dans l'interprétation des résultats obtenus :

- Ces études sont basées, la plupart du temps, sur des modèles ne considérant pas simultanément plusieurs polluants. Or, il est aujourd'hui reconnu que les polluants peuvent avoir des effets synergiques ou antagonistes. Par ailleurs, il est difficile de savoir, avec ce type d'approches, si les effets estimés peuvent être imputés uniquement au polluant étudié ou au polluant en tant que traceur d'autres expositions. Les conclusions du rapport de l'Anses indiquent ainsi qu'il n'est pas possible, en l'état actuel des connaissances, d'écarter l'impact de co-expositions, notamment par d'autres COV, dans les associations observées entre formaldéhyde et symptômes respiratoires [26]. Les estimations obtenues dans le cadre d'ÉQIS portant sur le formaldéhyde ne pourront donc pas à ce stade être attribuées à ce seul polluant. Pour les polluants issus du trafic routier, le NO₂ doit également être considéré comme marqueur de cette pollution. Le couple asthme-PM_{2,5} n'a d'ailleurs pas été retenu afin de ne pas doublement compter l'impact de polluants étant issus en partie de la même source d'émission.
- Ces études ne prennent pas en compte, ou très rarement, l'exposition à l'école et à domicile. Or, en raison du principe des cartes scolaires appliquées en France, les enfants sont généralement scolarisés à côté de leur domicile. De ce fait, pour les polluants issus principalement de sources externes, il est difficile de connaître l'impact spécifique éventuel de l'exposition à l'école. Une étude a néanmoins mis en évidence une association significative entre l'exposition au NO₂ et aux particules en lien avec le trafic routier à proximité des établissements scolaires après ajustement sur l'exposition à proximité du domicile [9].
- Ces études n'étudient pas le lien à court terme entre la présence de l'enfant dans les établissements et la sévérité de l'asthme (fréquence des symptômes respiratoires et des exacerbations). En effet, les études disponibles sont plutôt des études à moyen ou long terme. Il pourrait néanmoins être intéressant de connaître la part attribuable au milieu scolaire dans les exacerbations d'asthme observées chez l'enfant (notamment passages aux urgences et/ou hospitalisations). Cela semble d'autant plus pertinent que des données de surveillance ont mis en évidence une augmentation des recours aux urgences pour asthme chez les enfants de moins de 15 ans lors de la rentrée scolaire [58]. Néanmoins les hypothèses avancées à ce stade sont plutôt liées à la recrudescence des épisodes

d'infections virales respiratoires lors de la reprise de la vie en collectivité après les vacances scolaires d'été ou à d'autres facteurs, comme l'exposition à des allergènes à l'école ou l'arrêt du traitement de fond pendant les vacances, qu'à un rôle de l'exposition à la pollution à l'école.

Concernant les indicateurs de santé, aucune donnée d'événements de santé à l'échelle de l'établissement scolaire n'a été identifiée. Il n'est donc pas possible de croiser les données d'exposition et de santé spécifique à chaque établissement.

Concernant les indicateurs environnementaux, les données disponibles sont peu représentatives de l'exposition dans ou à proximité des établissements scolaires.

- Les données effectuées dans les salles de classe sont basées soit sur une seule mesure ne permettant pas de prendre en compte la variabilité saisonnière que l'on sait importante (données de la CNE), soit sur deux mesures à des saisons contrastées – pouvant être considérées comme une approximation imparfaite mais acceptable d'une moyenne annuelle [59] – mais disponibles uniquement pour les villes ayant opté pour la réalisation de mesures dans le cadre de la surveillance réglementaire ;
- Les données peuvent aussi être issues d'une modélisation des concentrations à l'adresse de l'établissement et non en son sein, ne permettant pas de prendre en compte les différences éventuelles de pollution entre la rue et la cour d'école. Cela semble d'autant plus important que des données récentes ont en effet mis en évidence des différences significatives [60].

Le lancement de ces premières ÉQIS permettra de confirmer l'intérêt de déployer ce type d'approche malgré les limites soulevées et de préciser les données à acquérir pour renforcer la robustesse des résultats obtenus. Une première ÉQIS est présentée dans la suite de ce rapport afin d'évaluer l'effet, à l'échelle de la France métropolitaine, d'une amélioration de la qualité de l'air des salles de classe, notamment vis-à-vis du formaldéhyde et des moisissures, sur la prévalence de l'asthme de l'enfant.

3. DEUXIÈME PARTIE : RÉALISATION D'UNE PREMIÈRE ÉQIS SUR L'EXPOSITION AU FORMALDÉHYDE ET AUX MOISSURES DANS LES ÉCOLES ÉLÉMENTAIRES ET L'ASTHME DE L'ENFANT DE 6-11 ANS

3.1 Introduction

En milieu intérieur, les sources principales de formaldéhyde sont le mobilier (notamment les produits dérivés du bois tels que les agglomérés, contreplaqués, etc.), les colles, enduits et peintures ainsi que certains revêtements (sol, murs et plafonds). Les logements neufs présentent notamment des concentrations plus importantes de formaldéhyde, son émission par ce type de produits diminuant avec le temps [61]. La température et l'humidité vont également jouer un rôle dans l'émission de formaldéhyde. D'autres sources plus ponctuelles liées aux activités de ménage ou aux travaux manuels peuvent également émettre du formaldéhyde. En ce qui concerne les moisissures, la teneur en eau, la température, la luminosité mais aussi la nature des matériaux de la pièce vont en favoriser le développement [35]. Un bon renouvellement d'air peut permettre de limiter le développement fongique et diminuer les concentrations en polluants [62-64].

La présence de ces substances dans les environnements scolaires a été confirmée par la campagne nationale Écoles de l'OQAI [3]. Sur la base des données identifiées dans l'étude de faisabilité, une première évaluation a donc été conduite afin de quantifier l'effet de la présence du formaldéhyde et des moisissures dans les salles de classe sur l'asthme de l'enfant.

3.2 Méthode

3.2.1 Zone, période et population d'étude

L'étude a porté sur la France métropolitaine pendant la période de disponibilité des données d'exposition soit de 2013 à 2017.

La population considérée était celle des enfants scolarisés en écoles élémentaires, soit les 6-11 ans.

3.2.2 Données utilisées

3.2.2.1 Couples polluant-effet et relations concentration-risque retenus

Les couples formaldéhyde/asthme et moisissures/asthme ont été considérés dans cette première approche. Pour le formaldéhyde, la relation C-R retenue était issue de l'étude de Lam *et al.* (2021) [29] en lien avec l'exposition en milieu intérieur et le diagnostic d'asthme chez l'enfant jusqu'à 15 ans (OR=1,20 [1,02 ; 1,41]). Pour les moisissures, il s'agissait de celle de Antova *et al.* (2008) [42] en lien avec l'exposition récente à des moisissures visibles à domicile et la prévalence des sifflements dans les douze derniers mois (OR : 1,46 [1,31 ; 1,61]) et d'asthme vie (OR : 1,23 [1,07 ; 1,41]).

3.2.2.2 Indicateurs de santé

Au regard des relations C-R, plusieurs indicateurs d'asthme ont été considérés : la prévalence des sifflements dans les douze derniers mois, la prévalence d'asthme actuel, défini par la survenue de sifflements dans les douze derniers mois chez un enfant ayant déjà eu des crises d'asthme dans sa vie, ou par la prise d'un traitement pour des crises de sifflements ou d'asthme dans les douze derniers mois, et la prévalence d'asthme diagnostiqué. La dernière vague d'enquête effectuée en classe de CM2 (année scolaire 2014-2015) dans le cadre des enquêtes nationales de santé en milieu scolaire conduites par la Drees et le ministère de l'Éducation nationale [49] a été retenue pour les estimations au niveau français. Dans cette enquête, les données sur l'asthme étaient recueillies par un interrogatoire des élèves par l'infirmier ou le médecin de l'Éducation nationale, basé sur des questions extraites du questionnaire standardisé ISAAC (N=7 928). L'asthme actuel était défini par la survenue de sifflements dans les douze derniers mois chez un enfant ayant déjà eu des crises d'asthme dans sa vie, ou par la prise d'un traitement pour des crises de sifflements ou d'asthme dans les douze derniers mois.

Le nombre d'enfants âgés de 6 à 11 ans concernés a été estimé en croisant le nombre d'élèves scolarisés en élémentaire et la prévalence obtenue via les enquêtes en milieu scolaire. Le nombre d'élèves scolarisés était issu des statistiques du ministère de l'Éducation nationale pour la rentrée 2014 [65].

3.2.2 Indicateurs d'exposition de la population et scénarios d'exposition

Les indicateurs d'exposition ont été estimés sur la base des données de la Campagne nationale Écoles de l'OQAI [3]. Cette étude a été menée entre 2013 et 2017 sur un échantillon représentatif de 301 écoles maternelles et élémentaires. Elles ont été tirées au sort afin de pouvoir extrapoler les résultats obtenus à l'ensemble des écoles françaises. Dans chaque école, deux salles classe, également tirées au sort, ont été instrumentées dans lesquelles plus de 71 polluants ont été recherchés.

Pour le formaldéhyde, la concentration hebdomadaire moyenne calculée pour les écoles élémentaires et redressée au niveau national a été considérée. Pour les moisissures, l'indicateur retenu était le pourcentage d'écoles élémentaires avec au moins une salle de classe dans laquelle des signes visibles de moisissures ont été constatés par des enquêteurs.

3.2.3 Scénarios retenus

Trois scénarios ont été initialement envisagés pour cette première ÉQIS.

Le premier scénario, dit « **écoles les moins polluées** », correspondait à une situation où toutes les écoles de France présenteraient des niveaux d'expositions dans leurs salles de classe équivalents à ceux observés dans les écoles les moins polluées, définis sur la base du 5^e percentile pour le formaldéhyde et par l'absence de moisissure. Or, le 5^e percentile de la distribution de la concentration en formaldéhyde redressée au niveau national étant de 8,3 µg/m³, ce scénario n'a pas été appliqué pour cette substance en raison des fortes incertitudes qui subsistent pour les faibles concentrations (voir section 2.3).

Pour les deux autres scénarios, les seuils étant plus élevés (respectivement 30 et 16,6 µg/m³) le calcul a été réalisé et les incertitudes ont été discutées. Il s'agissait :

- D'un scénario dit « **respect de la valeur réglementaire** », correspondant à une situation où aucune école de France ne présenterait des salles de classe avec des concentrations en formaldéhyde dépassant le seuil réglementaire de 30 µg/m³, valeur définie dans le

cadre de la surveillance réglementaire au-dessus de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées [66] ;

- D'un scénario dit « **bon renouvellement d'air** », correspondant à une situation où toutes les écoles de France présenteraient des niveaux d'expositions équivalents à ceux observés dans les salles de classe des écoles ayant un confinement de l'air jugé nul, faible ou moyen⁶.

Pour les moisissures, les calculs étant identiques pour les scénarios 1 et 3, un seul résultat a été présenté par la suite. Il correspond au bénéfice sanitaire de l'absence de moisissures dans l'ensemble des écoles élémentaires en France.

Les modalités de calcul de chacun de ces scénarios sont présentées en Annexe 4.

3.2.4 Calculs réalisés

3.2.4.1 Équation

Le calcul utilisé pour les ÉQIS est présenté en détail dans le guide ÉQIS-PA de Santé publique France [12]. L'équation repose sur quatre éléments :

- Le coefficient (noté β) de la pente de la régression entre l'effet sur la santé et l'exposition (généralement approchée par la concentration du polluant dans l'environnement considérée), qui a été calculé à partir du RR ou OR retenu (exprimant la relation C-R pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ du polluant) ($\beta = \frac{\ln(\text{RR ou OR})}{10}$) ;
- L'estimation du nombre d'individus présentant l'effet retenu pour la zone considérée (noté Y) ;
- L'estimation de l'exposition des individus pour le polluant retenu pour la zone considérée (notée X) ;
- Le ou les scénarios retenus ayant pour objectif de comparer une situation initiale de pollution (notée X_0) à une situation souhaitée (X_s), se traduisant par une différence en termes de santé entre X_0 et X_s .

Elle s'écrit ainsi :

$$\Delta Y = Y_0 \times (e^{\beta(\Delta X)} - 1)$$

ΔX étant la différence entre X_0 et X_s et ΔY entre Y_0 et Y_s . L'intervalle de confiance à 95 % de ΔY se calcule de la même manière en utilisant les bornes basses et hautes de l'intervalle de confiance à 95 % de β .

Le calcul n'a été effectué que pour les indicateurs sanitaires pertinents au regard des relations C-R retenues.

3.2.4.2 Prise en compte du budget espace-temps dans les estimations

Dans le cadre des ÉQIS-PA considérant l'exposition à l'air ambiant, l'estimation de l'impact repose sur l'exposition totale de l'individu (c'est-à-dire pour 24 heures et sur toute l'année). Ici, il convient de considérer le fait que l'estimation repose sur l'exposition à l'école uniquement. De ce fait, l'application d'un budget espace-temps (BET) peut s'avérer nécessaire dans le cas où la relation C-R retenue ne repose pas spécifiquement sur une évaluation de l'exposition à l'école. Pour le formaldéhyde, le méta-risque retenu était basé majoritairement sur des études à l'école (N=6/9). Il n'a donc pas été appliqué de BET. Pour les moisissures, il était

⁶ Le confinement de l'air est évalué par l'indice ICONE, indice développé par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et basé sur les mesures de dioxyde de carbone (CO_2) en période d'occupation pendant une semaine scolaire. Un indice de 0, 1 ou 2 traduit un renouvellement de l'air correct [67].

exclusivement basé sur des études à domicile. Un BET a donc été considéré afin de prendre en compte le temps passé par l'enfant à l'école, et plus spécifiquement ici dans les salles de classe, par rapport au temps passé à l'intérieur du domicile. L'équation de calcul utilisé était donc :

$$\Delta Y = Y_0 \times (e^{\beta(\Delta X * t)} - 1)$$

t étant le ratio de temps passé à l'école par rapport au temps passé à domicile. Pour estimer ce ratio, il a été considéré qu'un enfant de 6-11 ans passait en moyenne :

- 2,4 heures à l'école par jour sur la base des horaires obligatoires de l'Éducation nationale pour les niveaux élémentaires⁷ (24 heures d'enseignement par semaine sur 36 semaines) ;
- 14,1 heures par jour dans son logement sur la base des données budget espace-temps issu de la Campagne nationale Logement 1 de l'OQAI pour la tranche d'âge 5-9 ans [67].

3.2.5 Analyses des incertitudes

Afin d'apprécier le niveau de confiance accordé aux estimations obtenues et d'identifier les données complémentaires à acquérir, une analyse des incertitudes a été menée. Le travail effectué a consisté à identifier les sources d'incertitudes aux différentes étapes de la démarche d'ÉQIS. Pour les sources d'incertitudes liées au choix de la relation C-R et aux données de santé et d'exposition, l'analyse a reposé sur les éléments mis en avant dans le travail de recensement (voir section 2.3.3). Lorsque cela était possible, l'incertitude a été quantifiée par le calcul de l'intervalle de confiance de la valeur estimée. Le taux de variation par rapport à l'estimation retenue dans la section résultats a été présenté.

Des analyses de sensibilité ont également été effectuées afin d'évaluer quantitativement l'effet des choix ayant été opérés sur les estimateurs. Ces analyses ont porté sur l'effet du choix de l'indicateur sanitaire et des modalités de calcul basées sur les concentrations moyennées au niveau national.

La première analyse a considéré des relations C-R issues d'autres méta-analyses identifiées dans le cadre du travail de recensement (voir section 2.2.3.2). La relation issue de McGwin *et al.* [36] a ainsi été utilisée pour le formaldéhyde (OR : 1,33 [1,02 ; 1,74] considérant une diminution de 10 µg/m³ de formaldéhyde et la prévalence de l'asthme diagnostiqué) et celle de Fisk *et al.* [43] pour les moisissures (OR : 1,53 [1,39 ; 1,68] entre la présence de signes visibles d'humidité et la prévalence de sifflements dans les douze derniers mois). La première étant spécifique de l'exposition à l'école, le budget espace-temps n'a pas été pris en compte. Pour la deuxième, le ratio temps passé à l'école/temps passé à domicile a été appliqué, de manière identique à ce qui a été fait pour l'analyse principale.

La deuxième analyse a reposé sur l'utilisation des données issues de la surveillance réglementaire pour évaluer la concentration moyenne en formaldéhyde des salles de classe des écoles françaises au lieu des données de la Campagne nationale Écoles (CNE). Dans notre étude, le choix a été fait de se baser sur la CNE en raison de la représentativité de ces données à l'échelle du territoire, alors que le caractère « volontaire » des mesures dans le cadre de la surveillance n'assure pas une telle représentativité notamment sur l'équilibre urbain/rural (sur les 555 écoles élémentaires présentes dans la base de données, 363 étaient situées en zone urbaine). Néanmoins, les données disponibles sont nombreuses et permettent de mieux prendre en compte la variabilité saisonnière (2 mesures pour chaque salle de classe instrumentée). Cette analyse de sensibilité n'a pu être appliquée aux moisissures en l'absence d'autres base de données identifiées en lien avec l'exposition à l'école.

⁷ <https://www.education.gouv.fr/programmes-et-horaires-l-ecole-elementaire-9011>

La dernière analyse a été effectuée pour prendre en compte la variabilité des concentrations de formaldéhyde dans les écoles. En effet, habituellement, le calcul est fait à une échelle plus fine puis agrégé au niveau supérieur de restitution souhaité. Au lieu de calculer l'effet sur la base de la moyenne redressée de la concentration en formaldéhyde, le calcul a donc d'abord été réalisé à l'échelle de chaque école de la Campagne nationale Écoles puis additionné en prenant en compte les poids de sondage afin d'avoir une estimation au niveau de l'ensemble des écoles françaises. En l'absence des données sur le nombre d'élèves de chaque école ayant participé à la Campagne nationale Écoles, un nombre équivalent d'élèves a été affecté à chaque école. Ce nombre a été calculé en divisant le nombre d'élèves d'écoles élémentaires en France par le nombre d'écoles en France au moment de la CNE (N=35 390).

3.3 Résultats de l'ÉQIS

3.3.1 Description des indicateurs

3.3.1.2 Estimation de l'asthme chez l'enfant de 6 à 11 ans en France

Les estimations des différents indicateurs d'asthme sur la base de l'enquête en milieu scolaire pour le niveau CM2 [49] sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 : Estimation de la prévalence d'asthme chez l'élève de CM2 et du nombre d'enfants de 6 à 11 ans asthmatiques en France

Indicateur considéré	Prévalence de l'asthme chez l'élève de CM2*	Nombre d'enfants de 6-11 ans présentant un asthme**
Sifflements dans les douze derniers mois	11,4 %	480 362
Asthme vie	13,3 %	560 422
Asthme actuel¹	9,9 %	417 156

¹ Survenue de sifflements dans les douze derniers mois chez un enfant ayant déjà eu des crises d'asthme dans sa vie, ou par la prise d'un traitement pour des crises de sifflements ou d'asthme dans les douze derniers mois.

* Sur la base de l'enquête en milieu scolaire conduite par la Drees et le ministère de l'Éducation nationale pour l'année scolaire (2014-2015) [49]

** Calcul effectué à partir des données de prévalence chez l'élève de CM2 et du nombre d'enfants scolarisés en élémentaire à la rentrée 2014 (N=4 213 700) d'après le ministère de l'Éducation nationale [65]

Selon les chiffres de l'Éducation nationale, 4 213 700 élèves étaient scolarisés en élémentaire et unités localisées pour l'inclusion scolaire (ULIS) pour la rentrée 2014 [65]. Sur la base de ces effectifs et en appliquant la prévalence d'asthme dans la population d'enfants de CM₂ à l'ensemble de notre population d'étude, **on peut ainsi estimer que l'asthme affectait entre 417 000 et 560 000 enfants de 6 à 11 ans en France selon l'indicateur retenu.**

3.2.1.3 Exposition au formaldéhyde et aux moisissures dans les salles de classe

Les estimations obtenues sur la base des données de la Campagne nationale Écoles de l'OQAI sont présentées dans le tableau ci-dessous et comparées avec les valeurs issues de l'échantillon total (écoles maternelles et élémentaires).

Tableau 4 : Estimation des concentrations en formaldéhyde, de la présence de moisissures et du confinement dans les écoles élémentaires en (données CNE [3])

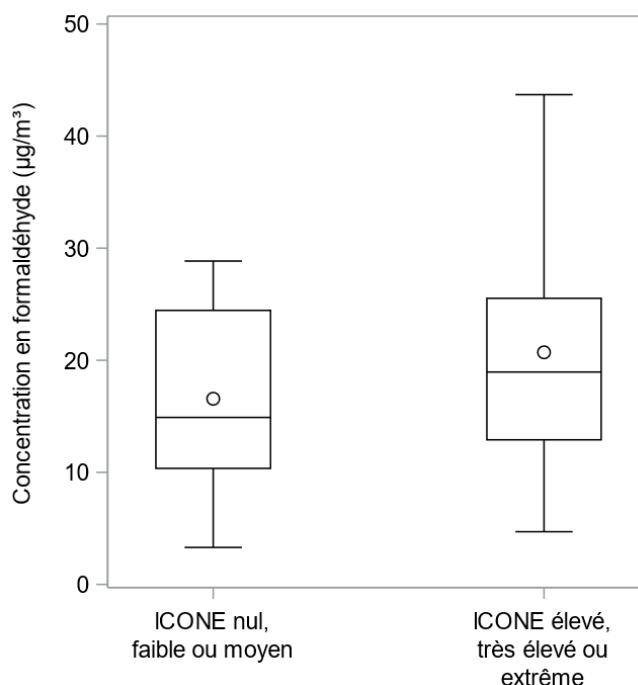
Indicateur considéré	Dans les écoles élémentaires uniquement (N=35 390)	Dans les écoles primaires (maternelles + élémentaires) (N=67 299)
Concentration moyenne hebdomadaire en formaldéhyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,0 +/- 0,9	21,4 +/- 0,7
Présence de moisissures visibles (N, %)	1 555 (4 %)	3 729 (6 %)
Confinement jugé nul, faible ou moyen* (N, %)	5 662 (16 %)	20 863 (31 %)

* Indice ICONNE égal à 0, 1 ou 2

Sur la base des données disponibles pour le formaldéhyde, le pourcentage d'écoles élémentaires présentant au moins une salle de classe avec un dépassement de la valeur réglementaire de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ était de 21 %.

Par ailleurs, les écoles élémentaires correspondant à un confinement jugé élevé, très élevé ou extrême (soit correspondant à un indice ICONNE > 3) présentaient une concentration moyenne de $20,7 \pm 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vs. $16,6 \pm 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les écoles présentant un confinement jugé nul faible ou moyen (Figure 5). Cette différence était significative (test de Kruskal-Wallis, $p=0,03$).

Figure 5 : Distribution des concentrations en formaldéhyde des écoles élémentaires selon l'indice ICONNE (données CNE [3], N=35 390)



Concernant les moisissures, la proportion du nombre d'écoles élémentaires présentant au moins une salle de classe avec des signes de moisissures visibles était de 5 % pour les écoles avec un confinement jugé élevé à extrême contre 0 % pour les autres (Tableau 5).

3.3.2 Évaluation de l'impact sur l'asthme d'une amélioration de la qualité de l'air des salles de classe

3.3.2.1 Diminution des concentrations en formaldéhyde

Le nombre annuel de cas d'asthme potentiellement évitable chez l'enfant de 6 à 11 ans grâce à une baisse des concentrations en formaldéhyde dans les salles de classe est présenté dans le Tableau 7.

Tableau 5 : Nombre annuel de cas d'asthme potentiellement évitables chez l'enfant de 6 à 11 ans sur la base de 2 scénarios de réduction des concentrations en formaldéhyde dans les salles de classe des écoles élémentaires en France métropolitaine

Scénario	Asthme actuel		Asthme vie	
	Nombre de cas évitables	Fraction attribuable	Nombre de cas évitables	Fraction attribuable
Scénario « respect de la valeur réglementaire »	9 028 [990 ; 16 850]	2 %	12 128 [1 330 ; 22 637]	2 %
Scénario « bon renouvellement d'air »	27 923 [3 127 ; 51 060]	7%	37 513 [4 201 ; 68 596]	7 %

Ainsi, sur la base des données retenues, environ **9 000 cas d'asthme actuel seraient potentiellement évitables chez l'enfant de 6-11 ans** si toutes les écoles élémentaires de France respectaient la valeur cible de 30 µg/m³, correspondant à la valeur réglementaire actuellement en vigueur. **Le bénéfice a été estimé à près de 30 000 cas** sur la base d'un scénario dans lequel toutes les écoles élémentaires présentaient des concentrations en formaldéhyde équivalentes à celles observées dans les salles de classe ayant un bon renouvellement d'air. Ces estimations sont légèrement plus élevées en considérant l'indicateur « asthme vie ».

3.2.2.2 Absence de moisissures

En considérant un scénario dans lequel plus aucune école ne présentait de signes de moisissures dans les salles de classe, **12 000 cas de sifflements dans les douze derniers mois** seraient potentiellement évitables chez l'enfant de 6 à 11 ans et **8 000 cas d'asthme vie**, soit entre 2 à 3 % du nombre total en fonction de l'indicateur sanitaire retenu (Tableau 8).

Tableau 6 : Nombre annuel de cas d'asthme potentiellement évitables chez l'enfant de 6 à 11 ans par une éradication des moisissures visibles dans les salles de classe en France métropolitaine

Scénario	Sifflements douze derniers mois		Asthme vie	
	Nombre de cas évitables	Fraction attribuable	Nombre de cas évitables	Fraction attribuable
Scénario « absence de moisissures »	12 219 [8 751 ; 15 326]	3 %	7 844 [2 576 ; 12 958]	2 %

3.4 Analyses des incertitudes

3.4.1 Identification des incertitudes et quantification

Les différentes sources d'incertitudes identifiées dans le cadre de cette ÉQIS sont présentées dans le Tableau 9 et détaillées ci-dessous. Ce tableau précise également la possibilité ou non de quantifier l'effet de cette incertitude.

Tableau 7 : Sources et évaluations des incertitudes identifiées dans le cadre de l'ÉQIS formaldéhyde et asthme

Sources de l'incertitude		Quantification de l'impact associé
Type	Description	
Incertitudes liées aux relations concentration-risque considérées		
Choix de la fonction C-R	Incertaines quant au lien entre formaldéhyde et asthme aux faibles concentrations.	Non
	Relations C-R utilisées basées sur des méta-analyses incluant des expositions à domicile.	Non, en l'absence de C-R spécifique à l'école et suffisamment robuste. Néanmoins analyses de sensibilité pour évaluer l'impact du choix de la relation C-R.
	Hypothèse de linéarité faite pour le couple formaldéhyde-asthme et non ajustement sur les autres COV.	Non
Incertitudes autour de l'estimateur		Utilisation des bornes inférieure et supérieure de l'estimateur (IC95 %) pour estimer l'impact pour le formaldéhyde.
Type d'effets considérés	Pas de prise en compte des effets à court terme et sur le développement de l'asthme	Non, mais sous-estimation de l'impact.
Incertitudes liées aux données de santé utilisées		
Choix de la banque de données	Choix de retenir les données issues de l'enquête en milieu scolaire	Non, en l'absence d'autre BDD pertinente identifiée.
Fiabilité/Représentativité des données utilisées	Ancienneté des données de prévalence, basée sur une enquête datant de 2014-2015. Enquête portant uniquement sur les CM ₂ (soit les 10-11 ans) et application pour l'ensemble de la population d'étude (soit les 6-11 ans).	Non
Incertitudes autour de l'estimateur		Utilisation des bornes inférieure et supérieure de l'estimateur (moyenne +/- ETM)

Incertitudes liées aux données d'exposition utilisées		
Choix de la banque de données	Choix de retenir les données de la CNE (2013-2017)	Réalisation d'une analyse de sensibilité en se basant sur les données 2016-2019 de la surveillance réglementaire pour le formaldéhyde.
Fiabilité/Représentativité des données utilisées	Données collectées sur la période 2013-2017 soit avant la crise Covid.	Non
Incertitudes autour de l'estimateur		Utilisation des bornes inférieure et supérieure de l'estimateur (moyenne +/-ETM).
Incertitudes liées au calcul effectué		
Échelle de calcul utilisée	Estimation uniquement faite sur la base d'un échantillon d'écoles.	Partiellement (réalisation d'une analyse de sensibilité pour le formaldéhyde).
Méthode de calcul	Approche déterministe utilisée Prise en compte du BET	Non
Incertitudes autour du scénario (pour le formaldéhyde uniquement)	Incertitudes autour de l'estimation de la concentration attendue <u>Pour le scénario 3</u> : estimation de l'impact de l'aération/ventilation sur les concentrations en formaldéhyde.	Utilisation des bornes inférieure et supérieure de l'estimateur (moyenne +/- ETM). Non

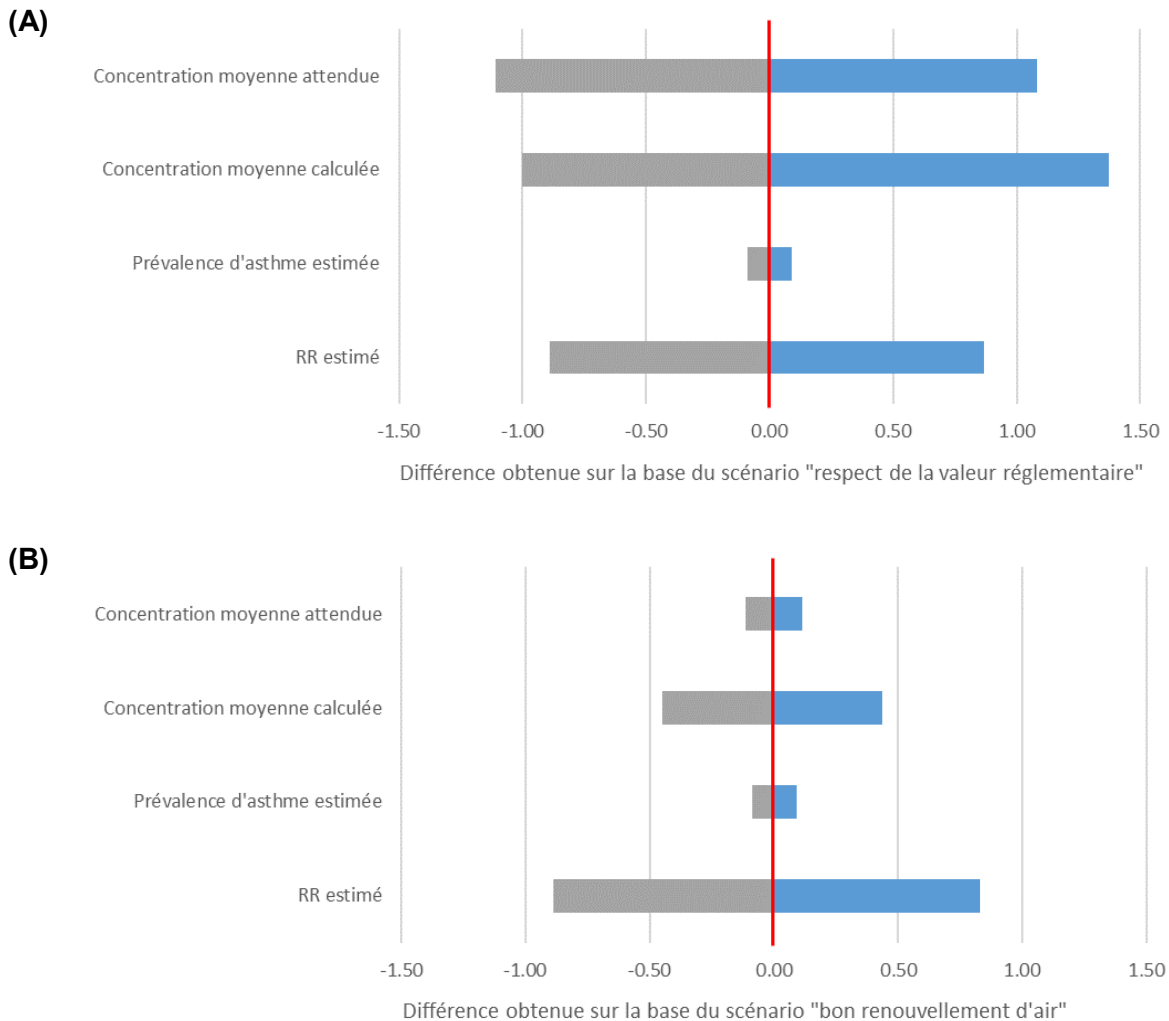
Les résultats des analyses de sensibilité (Tableau 10) et de l'impact des incertitudes autour des estimateurs (Figure 6) pour le formaldéhyde montrent que, parmi les incertitudes quantifiables, celle sur la relation concentration-risque est la plus forte. Néanmoins, l'impact des incertitudes autour de l'estimation prend de l'importance lorsque l'écart entre les concentrations observées et celles attendues est plus faible (Figure 6).

Tableau 8 : Résultats des analyses de sensibilité relatives à l'impact d'une réduction des concentrations en formaldéhyde dans les salles de classe sur l'asthme actuel de l'enfant de 6 à 11 ans

		Paramètres modifiés par rapport à l'analyse principale	Nombre de cas d'asthme actuels évitables	
			Scénario « respect de la valeur réglementaire »	Scénario « bon renouvellement d'air »
Analyse principale			9 028 [990 ; 16 850]	27 923 [3 127 ;51 060]
Analyses de sensibilité	Choix de la relation C-R	Utilisation de la relation C-R issue de McGwin <i>et al.</i> [36]	14 034 [990 ;26 825]	42 843 [3 127 ;79 177]
	Choix de la base de données environnementale	Utilisation des données de la surveillance réglementaire	9 771 [1 073 ; 18 223]	NC
	Choix de l'échelle de calcul	Utilisation des données par école	8 014 [1 003 ; 13 324]	22 605 [3 083 ;33 883]

NC = non calculé par manque de données

Figure 6 : Impact des incertitudes quantifiables sur l'estimation des bénéfices sur l'asthme de l'enfant d'une diminution des concentrations en formaldéhyde en fonction des scénarios estimés : (A) scénario « respect de la valeur réglementaire », (B) scénario « bon renouvellement d'air »



Pour les moisissures, seule l'analyse de sensibilité relative au choix de la relation C-R a été réalisée. Ainsi, sur la base de la relation issue de Fisk *et al.*, il a été estimé que près de 80 000 cas de sifflements dans les douze derniers mois seraient potentiellement évitables si aucune école élémentaire ne présentait des signes d'humidité (79 517 [58 914 ; 95 157]). Néanmoins, il convient de souligner que cette méta-analyse s'est intéressée au risque lié à la présence de signes d'humidité (incluant, au-delà des moisissures visibles, les taches d'humidité et l'odeur de moisi). L'indicateur d'exposition n'est donc pas le même que pour l'analyse principale et les estimations sont très différentes sur la base des données de la CNE. Ainsi, alors que seulement 4 % des écoles élémentaires avaient au moins une salle de classe avec des moisissures visibles, 25 % des écoles présentaient des signes d'humidité.

3.4.2 Discussions sur les incertitudes

3.4.2.1 Incertitudes liées à la relation concentration-risque retenue

L'analyse de faisabilité réalisée en amont de la réalisation de cette première ÉQIS a permis de mettre en évidence les incertitudes qui subsistent sur le lien entre exposition au formaldéhyde et asthme de l'enfant, aussi bien sur la nature causale de ce lien que sur sa forme, notamment aux faibles concentrations. Ainsi, certaines données toxicologiques suggèrent qu'il existerait un seuil pour les effets irritatifs du formaldéhyde [26] et il est difficile, sur la base des données épidémiologiques, de définir la forme de la relation formaldéhyde-asthme [29]. En raison de ces incertitudes aux faibles concentrations, certains auteurs ont fait le choix de retenir des seuils allant de 20 à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en dessous desquels ils considèrent que les incertitudes sont trop fortes pour l'application de la relation concentration-risque et l'estimation du fardeau [55-57]. Dans le cadre de cette ÉQIS, et ce en cohérence avec les publications citées précédemment, le choix a été fait de ne pas appliquer la relation concentration-risque dans le cadre du scénario 1 dit « écoles les moins polluées », la concentration associée étant relativement basse et clairement en deçà de la valeur de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (8,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). À noter que sur la base de ce scénario, le nombre de cas d'asthme actuels évitables aurait été d'environ 80 000 (80 135 [9 554 ; 138 087]) soit très largement supérieur aux autres scénarios. En ce qui concerne les scénarios 2 et 3, la relation a été appliquée dans leur cadre mais il convient de rappeler les incertitudes qui subsistent même si celles-ci ne sont pas quantifiables. L'acquisition de données sur le lien entre formaldéhyde et asthme aux concentrations observées en France serait nécessaire pour mieux comprendre l'effet du formaldéhyde aux faibles concentrations et pouvoir le quantifier le cas échéant.

De plus, les études épidémiologiques sur lesquelles reposent les relations concentration-risque retenues étaient basées sur des modèles mono-polluants ne permettant pas d'exclure l'effet de co-exposition. Comme indiqué en première partie, les associations disponibles entre le formaldéhyde et la prévalence de l'asthme de l'enfant pourraient ainsi intégrer également l'impact d'autres polluants et notamment d'autres composés organiques volatils. Les bénéfices estimés pour ce polluant seraient donc plus à considérer comme représentant l'effet du formaldéhyde en tant que marqueur de la pollution issue de sources internes et donc associés à la réduction stricte de l'exposition à différents composés organiques volatils. Les estimations présentées et associées à une réduction de l'exposition au formaldéhyde sont donc probablement surestimées. De plus, il n'est pas possible d'additionner les cas évitables pour le formaldéhyde et les moisissures dans la mesure où ils ne sont pas indépendants. En effet, l'émission de formaldéhyde est favorisée en présence d'humidité. Ces études n'étaient par ailleurs pas spécifiques à l'exposition à l'école. Pour le formaldéhyde, la majorité portait sur ces environnements (N=6/9). Pour les moisissures, elles ne considéraient que l'exposition à domicile. L'hypothèse avait en effet été faite de la transposabilité de la relation C-R d'une exposition à domicile à celle dans l'environnement scolaire. Cela avait été conforté par les résultats de plusieurs études individuelles à l'école mettant en évidence des associations significatives entre l'exposition aux moisissures et l'asthme de l'enfant avec des excès de risque proches de ceux observés à domicile [44-46]. Néanmoins, elles ne permettent pas à l'heure actuelle de disposer d'une relation C-R suffisamment robuste [41]. Une relation C-R définie en lien avec une exposition à domicile plus robuste a donc été privilégiée, en prenant en compte les différences de temps passé via l'application d'un BET. Ces résultats devront par la suite être confirmés lorsqu'un méta-risque robuste et spécifique à l'école sera disponible.

Ces études sont par ailleurs de type transversal. Au-delà des limites inhérentes à ce type d'études (impossibilité de connaître la chronologie entre l'exposition au facteur et la maladie, sous-représentation des cas les plus graves...), il convient de rappeler que les relations C-R utilisées sont donc basées sur des odds-ratios (OR) et non des risques relatifs (RR). Dans le cas de maladie rare, il est admis que l'interprétation des OR est équivalente à celle

des RR [68]. Avec une prévalence estimée à 9,9 %, cette condition n'est pas totalement respectée. Il y a donc un léger risque de surestimation de l'effet. Concernant l'estimation de la relation concentration-risque retenue pour le formaldéhyde, celle-ci était issue de la méta-analyse de Lam *et al.* dont la robustesse a été jugée bonne. Néanmoins, elle ne permettait pas de disposer d'une fonction concentration-risque spécifique à l'école. En considérant uniquement les études à l'école, le méta-risque estimé est de 1,18 (95 % IC [0,96 ; 1,14]) soit très proche de la valeur centrale du méta-risque considérant l'ensemble des études tel que publiées dans Lam *et al.* Cette valeur est également cohérente avec celle estimée par McGwin *et al.* Le choix de la relation concentration-risque ne semble donc pas avoir eu pour cette substance d'influence majeure. Pour les moisissures, il est plus difficile d'estimer l'effet dans la mesure où l'indicateur d'exposition considéré n'est pas le même. Il convient néanmoins de souligner le fait que l'incertitude autour de la valeur centrale est très importante. Sur la base du scénario « bon renouvellement d'air » par exemple, l'estimation du bénéfice sur la santé d'une réduction des concentrations en formaldéhyde se situe entre environ 3 000 à 50 000 cas d'asthme actuel selon l'intervalle de confiance à 95 % de la relation concentration-risque.

Enfin, il convient de souligner que, du fait de l'absence de données, les effets à court terme de la pollution de l'air des salles de classe sur l'asthme de l'enfant n'ont pas été pris en compte dans cette analyse. Pour ce qui est des effets à long terme, seul l'impact sur la prévalence de l'asthme et non l'incidence a été évalué. Cela se justifie par l'absence de relations concentration-risque disponibles et semble pertinent au regard de la durée d'exposition limitée dans le temps lorsqu'on considère uniquement la période de l'école élémentaire. Par ailleurs, une étude récente suggère que l'effet délétère de la pollution de l'air semble intervenir majoritairement dans les premières années de vie [69]. Les estimations d'impact sur la santé dans le cadre de ce travail sous-estiment la portée totale de la pollution de l'air des écoles sur l'asthme de l'enfant.

3.4.2.2 Incertitudes liées aux données de santé

Les données utilisées sur la prévalence de l'asthme actuel chez l'enfant étaient issues des enquêtes nationales de santé en milieu scolaire, enquêtes transversales répétées conduites notamment en classe de CM2. La dernière enquête réalisée en CM2 date de 2014-2015, année scolaire incluse dans la période d'enquête de la CNE (2013-2017). L'ensemble des données disponibles pour ce niveau scolaire a montré une augmentation de la prévalence de l'asthme actuel (8,7 % en 2004-2005, 9,7 % en 2007-2008 et 9,9 % en 2014-2015, soit une augmentation de 0,12 % par an en moyenne) [70]. Par ailleurs, les données disponibles pour les autres niveaux scolaires ne mettent pas en évidence de fortes différences entre classes d'âge. L'utilisation des données datant de plusieurs années en classe de CM2 n'est donc pas a priori une source majeure d'incertitudes.

Plusieurs indicateurs d'asthme ont été utilisés afin d'être cohérent avec ceux des études incluses dans les méta-analyses retenues. Considérant le contexte de l'étude, l'indicateur d'asthme actuel semble le plus pertinent à considérer au regard du temps d'exposition. Toutefois, cet indicateur est influencé par le sous-diagnostic, mais aussi par le surdiagnostic de l'asthme [71]. Estimer la prévalence de l'asthme par la prévalence des sifflements au cours de l'année écoulée présente d'autres limites : cet indicateur ne prend pas en compte les enfants asthmatiques chez qui l'asthme est bien contrôlé par un traitement et, en revanche, il inclut les enfants qui ont des sifflements qui ne sont pas dus à de l'asthme. Les conséquences du choix de l'indicateur sur l'estimation du bénéfice sur la santé n'était pas négligeable mais semble relativement limité au regard d'autres incertitudes (Tableau 10). Ainsi le bénéfice du respect de la valeur réglementaire (scénario 2) estimé à partir de la prévalence d'asthme vie était d'environ 12 000 cas contre 9 000 sur la base de la prévalence d'asthme actuel (Tableau 7). Pour les moisissures, l'effet estimé était d'environ 8 000 cas asthme vie contre 12 000 cas de sifflements dans les douze derniers mois.

3.4.2.3 Incertitudes liées aux données d'exposition

L'évaluation de l'exposition des élèves au formaldéhyde à l'école repose sur une estimation nationale à partir de mesures hebdomadaires dans un échantillon de 301 écoles représentatif au niveau français. Cette estimation ne permet pas d'intégrer une éventuelle variabilité saisonnière des concentrations au cours de l'année scolaire pour une même salle de classe. Les concentrations pendant et hors période de chauffe sont généralement différentes, à savoir plus élevées en période estivale qu'en période hivernale pour le formaldéhyde, notamment en raison d'émissions plus élevées liées aux températures plus élevées et une réactivité chimique (promotrice de formaldéhyde) accrue en période estivale en présence d'ozone [61]. Ceci est observé dans l'échantillon d'écoles incluses dans la CNE, où la concentration moyenne en formaldéhyde des écoles dans lesquelles les mesures ont été réalisées pendant la période de chauffe était de 19,7 µg/m³ contre 26,9 µg/m³ pour celles hors période de chauffe ($p < 0,0001$). Même si chaque école était enquêtée une seule fois, l'étalement de la campagne de mesures tout au long de l'année scolaire a permis d'intégrer les variations saisonnières dans l'estimation nationale des expositions même si les écoles instrumentées en période de chauffe étaient plus nombreuses (77 % des écoles dans l'échantillon redressé).

Lors du travail de recensement, les données issues de la surveillance réglementaire avaient également été identifiées pour évaluer les concentrations en formaldéhyde. Ces données présentent l'avantage d'être basées sur une mesure en période de chauffe et une seconde hors chauffe pour l'ensemble des classes instrumentées. Néanmoins, elles ne permettent pas de disposer d'une estimation représentative des expositions, l'exécution des mesures étant basée sur du volontariat. Le choix avait donc été fait de privilégier les données de la CNE. L'analyse de sensibilité réalisée sur la base de la moyenne hebdomadaire estimée via les données de la surveillance réglementaire met en évidence un effet négligeable de ce choix sur les estimations (9 771 contre 9 028 pour l'estimation centrale, voir Tableau 10).

Concernant les moisissures, la présence de signes visibles repose sur une constatation par un enquêteur. Il existe une multitude de méthodes pour évaluer l'exposition aux moisissures dans le bâti (examen visuel, identification d'odeur de moisi, évaluation via des indices de contamination fongique basés sur l'émission de COV...) sans consensus sur le choix d'une d'entre elles [35]. Néanmoins, il a été mis en évidence que l'identification visuelle pouvait conduire à une sous-estimation de l'exposition aux moisissures dans la mesure où elle ne permet pas de détecter des moisissures cachées (sous le papier peint par exemple) ou récentes [72, 73]. Par ailleurs, l'estimation de la proportion d'écoles concernées est différente en considérant l'exposition aux moisissures visibles uniquement ou plus largement les signes d'humidité. L'évaluation de l'impact sur la base d'une constatation de signes visibles de moisissures est donc probablement sous-estimée.

Enfin, il convient également de noter que les données disponibles ont été collectées durant la période 2013-2017, soit avant la pandémie de Covid-19 survenue en 2020. L'extrapolation des résultats à la période actuelle postérieure à 2020 semble délicate, la crise sanitaire ayant pu modifier significativement la qualité de l'air dans les écoles en raison des mesures d'aération recommandées pour lutter contre la transmission du virus en milieu scolaire. Par ailleurs, il est important de rappeler que l'échantillonnage de la Campagne nationale École a été réalisé afin d'assurer une représentativité de l'échantillon par rapport au parc national des écoles en France. Il ne s'agit donc d'une représentativité au niveau « bâti » et non « individu » dans la mesure où le nombre d'élèves n'a pas été considéré dans le plan de sondage.

3.4.2.4 Incertitudes liées au calcul

Une source d'incertitude pouvant avoir une influence non négligeable est l'échelle de calcul utilisée. Dans notre étude, faute de données au niveau infrarégional, l'estimation de l'impact a directement été réalisée au niveau national. Dans le cadre de l'ÉQIS-PA dont l'objectif était

d'évaluer les conséquences de l'exposition à la pollution de l'air ambiant en Région Auvergne-Rhône-Alpes par exemple, le calcul a été effectué à un niveau communal puis restitué à différents niveaux géographiques supérieurs [74]. Une analyse de sensibilité a été réalisée pour évaluer l'effet d'un calcul à la commune par rapport à un niveau géographique supérieur. Elle a mis en évidence un effet différent de l'échelle de calcul en fonction du type de scénario. Ainsi pour un scénario d'atteinte d'une valeur fixe avec des entités possiblement en dessous de cette valeur, le calcul d'impact sur la santé à l'échelle géographique la plus fine est donc indispensable. C'est le cas notamment dans notre étude pour les scénarios 2 et 3. Le calcul réalisé à l'échelle des écoles enquêtées dans la CNE puis additionné en considérant les poids de sondage n'a néanmoins pas mis en évidence de différence significative (Tableau 10). Une autre solution aurait été, en l'absence de données plus fines pour vérifier la robustesse des estimations obtenues à une échelle locale, d'utiliser une approche probabiliste plutôt que déterministe. L'information sur le nombre d'enfants de chaque école inclus dans la CNE aurait également été utile pour affiner les résultats mais ces données n'étaient pas disponibles. Cette approche probabiliste aurait pu également être appliquée à la relation concentration-risque. Concernant les données de prévalence, en l'absence d'information sur la variabilité au niveau géographique ou individuel (niveau socio-économique, etc.) seule une approche déterministe pouvait être utilisée.

La prise en compte ou non d'un BET a un effet important sur la quantification du bénéfice sanitaire. En prenant l'exemple des moisissures, l'estimation du nombre annuel de cas de sifflements potentiellement évitable passe de 12 000 à 67 000 cas soit près de 6 fois plus. Or, à l'heure actuelle, peu d'études épidémiologiques ont considéré le temps passé dans leur calcul de risque, la plupart d'entre elles reposant sur une évaluation des concentrations et non des expositions. Le choix a été fait pour les moisissures d'appliquer le BET ce qui a pu conduire à une sous-estimation du risque lié à ce type d'exposition. Pour le formaldéhyde, la méta-analyse de Lam *et al.* reposant à la fois sur des études à l'école (N=6) et à domicile (N=3) [29], le choix de ne pas appliquer de BET peut conduire à une surévaluation de l'impact. Néanmoins, plusieurs arguments confortent ce choix. Les valeurs centrales des méta-risques obtenus pour des études considérant spécifiquement l'exposition à l'école diffèrent peu de celle de Lam *et al.* Par ailleurs, dans les études individuelles utilisées pour calculer ces méta-risques, l'exposition est approchée par une mesure passive de concentrations sur une durée continue de cinq à sept jours quel que soit le lieu d'exposition ; il s'agit donc plus de fonctions C-R que de relation C-R. Il convient également de souligner que l'estimation du temps passé n'a considéré que le temps en salles de classe et ne reflète donc pas le temps total passé par l'enfant au sein de l'école.

Enfin, pour le scénario 3 dit « bon renouvellement d'air », le choix a été fait d'appliquer la concentration moyenne observée dans les écoles présentant un indice ICONÉ inférieure 3 seulement à toutes les écoles avec un indice ICONÉ supérieure à 3 sans prise en compte de la valeur réelle. Par ailleurs, la baisse de concentrations en formaldéhyde évaluée dans le scénario 3 repose sur l'hypothèse que la différence de concentration observée entre les écoles présentant un indice ICONÉ strictement supérieur à 2 par rapport aux autres, est principalement due au meilleur renouvellement d'air. Afin de vérifier que ces différences n'étaient pas dues à des différences de caractéristiques entre les écoles, une comparaison a été faite, sur la base d'analyses bivariées, entre celles présentant un confinement élevé à extrême et les autres. Il en ressort que les variables quantitatives significativement corrélées à l'indice ICONÉ, au-delà du taux de renouvellement d'air, étaient principalement des variables associées aux conditions d'aération/ventilation (saison, température moyenne en période d'occupation, zone climatique, période de construction) (Annexe 5). Ces résultats soulignent que le renouvellement d'air est un déterminant majeur des concentrations de formaldéhyde. Ils confortent donc l'hypothèse faite que les différences de concentrations en formaldéhyde observées entre les écoles présentant un confinement élevé à extrême et les autres sont essentiellement attribuables à des différences de renouvellement de l'air. Néanmoins, il serait préférable de pouvoir estimer, pour chaque école, la baisse de concentration en formaldéhyde

attendue en raison d'un meilleur renouvellement d'air au regard des concentrations observées. Il convient également de noter que l'indice ICONE utilisé ici repose sur les anciens seuils de 1 000 et 1 700 ppm [67]. La classification est donc susceptible d'être modifiée à la suite de nouveaux seuils de 800 et 1 500 ppm proposés par le Haut Conseil de la santé publique [75].

3.5 Discussion générale

3.5.1 Une première estimation suggérant un bénéfice non négligeable sur l'asthme de l'enfant

Notre étude permet de disposer d'une première évaluation de l'impact sur la santé chez l'enfant de l'exposition au formaldéhyde et aux moisissures dans les salles de classe. Elle met ainsi en évidence une réduction significative du nombre de cas prévalent d'asthme chez l'enfant liée à une diminution de la concentration en formaldéhyde, en tant que marqueur de pollution issue de sources internes, et de la présence de moisissures dans les écoles. L'acquisition de données complémentaires, notamment concernant les relations concentrations-risques serait nécessaire pour consolider ces premières estimations.

3.5.1.2 Discussion sur les bénéfices liés à une amélioration de la QAI dans les salles de classe sur l'asthme de l'enfant

Cette première ÉQIS sur l'impact de la pollution de l'air intérieur sur l'asthme chez l'enfant a permis de quantifier le gain sanitaire de la diminution des concentrations en formaldéhyde et de l'absence de moisissures dans les salles de classe des écoles élémentaires. L'originalité de cette étude repose sur l'application de l'approche d'ÉQIS à un type d'établissement spécifique. Habituellement les ÉQIS réalisées considèrent l'exposition globale de l'individu (que ce soit via l'exposition à la pollution de fond ou l'exposition dans les environnements intérieurs incluant logement et école). Deux autres études, plutôt centrées sur la pollution à proximité des établissements scolaires liée au trafic routier, avaient fait également ce choix d'appliquer la démarche d'ÉQIS spécifiquement aux environnements scolaires [76, 77]. Cette approche, ciblée sur l'environnement scolaire, a été faite en cohérence avec l'objectif de sensibiliser les parties prenantes aux conséquences de la pollution de l'air dans les écoles. Elle peut en effet permettre de faire prendre conscience aux collectivités territoriales, en tant que gestionnaires du bâti scolaire, et aux personnels de l'Éducation nationale (voire aux élèves), en tant qu'occupants de ces établissements, des retombées de la pollution sur la santé dans les écoles. À notre connaissance, aucune autre ÉQIS n'avait été menée spécifiquement sur l'exposition à ces polluants en milieu scolaire au niveau international.

En 2016, Greillet *et al.* [78] avaient estimé l'effet sur la santé associé à l'exposition au formaldéhyde dans les environnements intérieurs (incluant les écoles) en France. Le nombre de personnes en France, âgées de 0 à 18 ans, développant une crise d'asthme dans l'année du fait d'une exposition au formaldéhyde avait été estimé à environ 177 000 (P5 = 47 864 ; P95 = 816 504). Cette étude considérait l'ensemble des expositions au formaldéhyde dans les environnements intérieurs à savoir, pour les enfants, le domicile et les lieux de garde ou de scolarisation. Il est difficile de comparer directement ces résultats avec nos estimations, les méthodologies de calcul, les scénarios retenus et les environnements de vie considérés n'étant pas les mêmes. Quoi qu'il en soit, au vu des concentrations légèrement plus élevées et du temps passé supérieur dans les logements qu'à l'école, le gain sanitaire lié à une même amélioration de la QAI dans les domiciles sera probablement plus élevé que pour la QAI dans les écoles. Néanmoins, les actions à mettre en place relèveraient alors en partie de chaque famille dans leur propre logement. Une action au niveau d'un établissement voire de l'ensemble des établissements d'une collectivité aura quant à elle l'avantage de concerner un plus grand nombre d'individus.

Les premières estimations obtenues dans le cadre de ce travail suggèrent que le respect de la valeur réglementaire du formaldéhyde conduisant à mettre en place des investigations complémentaires, actuellement fixée à 30 µg/m³ dans l'ensemble des écoles élémentaires, pourrait permettre d'éviter près de 9 000 cas d'asthme chez l'enfant de 6 à 11 ans. Ce chiffre est probablement surestimé car il reflète plus le bénéfice d'une réduction globale de l'exposition aux composés organiques volatils qu'un gain à attribuer au formaldéhyde seul. Quoi qu'il en soit, ce résultat conforte l'intérêt d'une surveillance obligatoire de cette substance au sein des établissements scolaires et renforce l'importance de mener ces investigations complémentaires dès le dépassement de cette valeur. Il convient tout de même de souligner que ce bénéfice est 3 fois moins élevé que celui obtenu via le scénario « bon renouvellement d'air ». Cela peut s'expliquer par le faible taux d'écoles avec au moins une salle de classe dépassant cette valeur de 30 µg/m³. À cela s'ajoute le bénéfice d'une éradication des problématiques de moisissures. Celui-ci a été estimé à environ 12 000 cas de sifflements dans les douze derniers mois potentiellement évitables sur la base des données disponibles (12 219 [8 751 ; 15 326]). Il n'est cependant pas possible d'additionner ces deux estimations en raison de la corrélation entre la présence de moisissures et les concentrations en formaldéhyde, mais cela met en évidence un effet significatif de l'amélioration de la qualité de l'air des salles de classe sur l'asthme de l'enfant. Même si ces différentes estimations nécessitent d'être confirmées au regard des incertitudes qui subsistent aux faibles concentrations, ces résultats illustrent l'importance d'un point de vue sanitaire des actions permettant d'améliorer le renouvellement de l'air, et plus largement d'amélioration de la qualité de l'air intérieur dans les établissements scolaires. Ces résultats suggèrent par ailleurs que ces actions soient effectuées indépendamment d'un dépassement du seuil réglementaire.

3.5.2.3 Discussion sur les effets liés à un bon renouvellement de l'air dans les salles de classe sur l'asthme de l'enfant

Les données de la CNE ont mis en évidence des concentrations en formaldéhyde plus élevées dans les écoles élémentaires présentant un confinement jugé élevé à extrême⁸ par rapport aux autres (20,7 µg/m³ versus 16,6 µg/m³). Sur la base de cette différence, il a pu être estimé que près de 30 000 cas d'asthme actuel chez l'enfant de 6-11 ans seraient potentiellement évitables par la diminution des concentrations en formaldéhyde induit par un meilleur renouvellement de l'air. À cela s'ajoutent les bénéfices liés à l'absence de moisissures observée dans les salles de classe des écoles présentant un indice ICONNE inférieur à 3 par rapport aux autres (dans 4 % des écoles élémentaires avec un confinement jugé élevé à extrême⁷ des moisissures visibles ont été constatées).

En 2014, Mesas-Frais *et al.* [79] ont évalué l'effet des conditions de ventilation des logements en Angleterre sur la morbidité respiratoire (définie dans l'étude notamment sur la déclaration de symptômes respiratoires dont des sifflements dans les douze derniers mois). Les auteurs ont ainsi calculé un méta-risque de 1,34 (IC95 % [1,15 ; 1,57]) pour un taux de renouvellement d'air inférieur à 0,5 volume/heure. Sur la base de ce méta-risque, un excès de 371 097 cas attribuables à une mauvaise ventilation des logements (inférieur à 0,48 vol/h) avait été estimé (pour une population totale de 53 107 000 individus). En 2009, Fisk *et al.* avaient fait ressortir qu'une diminution des taux de ventilation (d'environ 0,2-0,5 vol/h) augmentait le risque de prévalence de symptômes associés au syndrome des bâtiments malsains de 12 à 32 % [80]. Ces données, bien que portant sur d'autres environnements et présentant plusieurs limites, confirment l'intérêt sanitaire du renouvellement de l'air sur la santé respiratoire. Il convient par ailleurs de souligner que de plus en plus d'études soulignent également l'importance de ce renouvellement au-delà de la santé physique et notamment sur l'apprentissage des enfants [81, 82].

⁸ Évalué sur la base de l'indice ICONNE (valeur de 3 à 5).

En France, dans près des trois quarts des écoles, les classes n'ont pas de système de ventilation, le renouvellement d'air se faisant uniquement par ouverture des fenêtres (aération) [83]. Dans une étude menée en 2011 auprès de 466 écoles maternelles et élémentaires et 233 structures d'accueil de la petite enfance [84], il avait été identifié que les enseignants ouvraient les fenêtres plutôt par besoin que de manière préventive ; les trois motivations principales étant la température trop élevée (58,9 %, N=902), les odeurs dans la pièce (46,3 %) et la sensation de confinement (55,3 %). La présence de courants d'air froid en période hivernale, les nécessaires économies d'énergie de chauffage, la présence de nuisances sonores extérieures, la sécurité, voire l'impossibilité d'ouvrir les fenêtres, sont autant d'obstacles limitant ces gestes [84]. Le déploiement de capteurs de CO₂ dans le contexte de la crise sanitaire du Covid-19 a permis de favoriser ces pratiques d'aération dans les écoles. Une étude pilote, menée par la Ville de Paris en collaboration avec AirParif, dans 112 établissements allant de la crèche au collège, a montré que la présence d'un capteur constituait une aide à l'aération [85]. En effet, plus de la moitié des participants ont déclaré avoir changé leurs pratiques d'aération. Néanmoins, ils ont également fait le constat que le dépassement du seuil recommandé arrivait plus rapidement qu'ils ne l'auraient pensé et que le temps nécessaire pour redescendre sous ce seuil avec l'aération était aussi plus long qu'ils ne l'avaient imaginé. On peut donc s'interroger sur la poursuite à long terme de ces gestes, en dehors d'un contexte de crise sanitaire.

Dans le cadre de l'évolution de la surveillance réglementaire, une évaluation annuelle des moyens d'aération est maintenant demandée. Cette évaluation était déjà existante dans la réglementation antérieure mais sa fréquence, initialement fixée à tous les sept ans est maintenant annualisée. L'ajout d'une mesure à lecture directe de la concentration en dioxyde de carbone devrait également permettre de mieux détecter d'éventuels dysfonctionnements des systèmes de ventilation et plus largement des problèmes de renouvellement d'air. Cela semble d'autant plus intéressant que l'amélioration de ce dernier peut avoir d'autres bénéfices que celui évalué sur l'asthme de l'enfant dans le cadre de ce travail. Un lien entre les concentrations en CO₂ et les performances cognitives des élèves est notamment suggéré dans plusieurs études [75].

Enfin, il convient de souligner que, dans la CNE, les concentrations en NO₂ estimées dans les écoles élémentaires françaises ayant un confinement jugé nul à moyen étaient supérieures à celles avec un confinement élevé à extrême (13,3 versus 7,1 µg/m³). Cela pourrait s'expliquer par un transfert de pollution de l'extérieur vers l'intérieur des locaux plus important par la prise d'air extérieur ou l'ouverture des fenêtres. L'effet de cette concentration de NO₂ plus élevée n'a pas été évalué dans le cadre de notre travail mais les différences de concentrations mettent en évidence un risque d'augmentation du nombre de cas lorsque l'on réduit le confinement de l'air intérieur. Ce résultat souligne l'importance de travailler conjointement sur les sources de pollution intérieure et à proximité des établissements scolaires pour assurer une bonne qualité d'air dans les établissements scolaires et donc protéger au mieux la santé des enfants.

3.5.2 Des actions possibles des collectivités et occupants des établissements

Même si ces estimations nécessitent d'être confirmées, elles soulignent l'importance de mettre en place des actions pour améliorer la QAI des établissements scolaires. Ces actions peuvent passer par une réduction des sources mais aussi par l'amélioration du renouvellement de l'air dans les salles de classe.

Plusieurs actions sur les sources sont en effet envisageables pour limiter l'exposition au formaldéhyde en milieu scolaire [86]. Ces actions relèvent des collectivités territoriales, chargées du bâti scolaire, mais aussi des occupants de ces locaux d'enseignement. Les collectivités peuvent ainsi privilégier l'achat de produits peu émissifs en imposant notamment des critères environnementaux et sanitaires dans leurs marchés. En effet, depuis

la réforme du code des marchés publics en septembre 2006, l'acheteur n'est plus obligé de se référer uniquement à une norme pour définir les caractéristiques de son marché. Il peut s'appuyer sur la présence de labels ou certifications. L'étiquetage obligatoire des produits de construction et de décoration permet également de choisir les matériaux par rapport à leur niveau d'émissions du produit en polluants volatils dans l'air intérieur d'une pièce, allant de la lettre A+ (très faibles émissions) à C (fortes émissions). Cet étiquetage s'applique notamment aux produits destinés aux revêtements de sol, mur ou plafond, cloisons et faux plafonds, produits d'isolation, portes et fenêtres. Pour les autres types de produits (ameublement, produits d'entretien, fournitures scolaires), le recours à des produits labellisés (écolabel européen, NF Environnement Éducation, etc.) permet de garantir des produits répondant à certains critères environnementaux, qualitatifs ou sociaux. Néanmoins il existe un grand nombre de labels basés sur des critères d'exigence parfois très différents⁹. Il convient également d'éviter de placer les enfants dans des situations possibles de fortes expositions. Il est important pour cela de prévoir un temps d'inoccupation des espaces rénovés, les émissions de composés organiques volatils ayant lieu dans les premières semaines après la mise en place des matériaux et produits [87]. L'Ademe recommande ainsi de prévoir a minima une semaine (dans l'idéal quatre) pour réintégrer les élèves après des travaux de rénovation [86]. La réalisation de ces travaux hors périodes scolaires est donc à privilégier. Il est utile également de prévoir un délai entre l'achat de mobilier neuf et son installation dans les salles de classe en les stockant dans une pièce ventilée ou aérée avant de les introduire dans la pièce de destination. La surveillance réglementaire de la qualité de l'air des établissements recevant du public a par ailleurs évolué afin que les mesures des polluants, dont le formaldéhyde, soient maintenant réalisées de manière obligatoire à certains moments clés de la vie des bâtiments (travaux d'extension ou de rénovation énergétique, modification du système de ventilation, changement des fenêtres ou du revêtement de sol, changement de disposition des pièces, etc.). Néanmoins, ces mesures ne sont pas exigées directement à l'issue des travaux (deux séries de prélèvements effectuées au cours de deux périodes espacées de quatre à sept mois prévues à ce jour) et ne pourront donc pas conditionner le retour des enfants en cas de fortes concentrations.

L'aménagement des salles de classe et le choix des fournitures scolaires peuvent également jouer un rôle dans les concentrations en formaldéhyde. Cette substance a notamment été identifiée dans plusieurs types de fournitures scolaires, principalement des produits utilisés lors d'activités manuelles telles que peintures ou colles [88]. Il est donc préférable de les stocker dans un local de rangement spécifique ne communiquant pas avec la pièce occupée et ventilé mécaniquement ou disposant d'une fenêtre permettant l'aération. Pour les moisissures, il est également recommandé dans les bâtis mal isolés et/ou pour ceux dont la surface des murs côté intérieur présente des températures basses (murs très froids au toucher), de ne pas y placer de gros meubles et notamment dans les angles extérieurs. Un écart de 5 à idéalement 10 centimètres entre le meuble et le mur extérieur peut également permettre dans ces situations de limiter les problèmes d'humidité [35].

Au-delà de la réduction des sources, l'entretien des systèmes de ventilation et les gestes d'aération sont des leviers d'actions importants pour améliorer la qualité de l'air des salles de classe. Comme indiqué précédemment, le déploiement de capteurs de CO₂ peut également faciliter la mise en place des gestes d'aération [85] mais des travaux plus structurels sont parfois nécessaires. Le type d'ouvrants peut notamment influencer les pratiques d'aération [84]. Il est par ailleurs indispensable que les actions décidées soient réfléchies en cohérence avec l'effet de l'environnement proche urbain, notamment la proximité du trafic routier mais également les autres sources de pollution potentielle (lieux de combustion, de chauffage, etc.). Ces enjeux sont à prendre en compte dans les choix d'emplacement et d'aménagement de ces bâtiments scolaires, notamment lors de la réhabilitation ou la construction de ces établissements.

⁹ Plus d'informations sur ces labels disponibles sur le site de l'Ademe : <https://agirpourlatransition.ademe.fr/particuliers/labels-environnementaux>

3.5.3 Des données à acquérir pour aller plus loin

Au-delà des incertitudes identifiées, cette première application présente plusieurs limites. Tout d'abord elle s'est focalisée uniquement sur les enfants de 6 à 11 ans scolarisés en école élémentaire. Ce choix a été fait en considérant les données disponibles sur le sujet, et ne signifie pas des répercussions sur la santé uniquement dans cette tranche d'âge. En effet, plusieurs études épidémiologiques suggèrent que la pollution de l'air dans les salles de classe aurait aussi des conséquences chez les élèves plus jeunes mais aussi les plus âgés [5]. Par ailleurs, seuls le formaldéhyde et les moisissures ont été considérés pour ces premiers calculs. La présence de NO₂ dans les salles de classe, étudié également dans le cadre de travail, peut aussi avoir une influence. Au-delà des substances préalablement identifiées, d'autres polluants, ainsi que les pollens, sont connus pour avoir des conséquences sanitaires notamment sur la santé respiratoire de l'enfant mais n'ont pas été considérés. Par ailleurs, des associations avec d'autres pathologies (non respiratoires) ont également été retrouvées en lien avec la pollution de l'air des écoles même si elles restent moins documentées. Le travail de recensement avait également permis d'identifier plusieurs publications sur le lien entre renouvellement de l'air et bien-être et apprentissage des enfants.

Ce travail a néanmoins déjà permis d'identifier les besoins de données pour améliorer et renforcer la réalisation de ces premières ÉQIS spécifiques à ces environnements. Il conviendrait :

- En ce qui concerne les relations concentration-risque :
 - D'acquérir des informations sur la forme des relations concentrations-risque notamment liées à l'exposition au formaldéhyde à des niveaux faibles d'exposition ;
 - De mener des études épidémiologiques pour mieux quantifier l'augmentation du risque, notamment d'asthme, chez l'enfant lié à l'exposition à la pollution de l'air à l'école et notamment :
 - Des études en France, la dernière au niveau national datant de 2001 [89] ;
 - Des études à court ou long terme, prenant en compte également l'exposition aux autres environnements, y compris le domicile, pour mieux comprendre le rôle de l'école dans le développement et l'aggravation des maladies respiratoires ;
 - Des études portant sur d'autres polluants que ceux étudiés ici, dont les particules fines retrouvées de manière omniprésentes dans les écoles françaises. Des études basées sur des approches multipolluants sont notamment importantes pour pouvoir prendre en compte l'effet des différents polluants de manière globale ;
 - Des études permettant d'estimer l'effet du temps passé dans les différents environnements intérieurs sur l'association entre la présence des polluants et la santé de l'enfant.
- En ce qui concerne les données d'exposition :
 - De disposer de nouvelles données sur la qualité de l'air dans les salles de classe, les dernières remontant à 2013-2017 soit avant la crise sanitaire qui a pu modifier les comportements et donc la présence de certains polluants ;
 - De favoriser, au-delà d'une campagne nationale sur le sujet à un instant t, le suivi de l'évolution des concentrations dans un panel d'écoles afin de mieux comprendre l'évolution des concentrations au cours de l'année scolaire et dans le temps ;
 - De collecter en parallèle de ces données de concentrations, des informations sur le nombre et les caractéristiques des enfants présents au sein des établissements (état de santé, caractéristiques sociodémographiques, etc.) afin de pouvoir mieux évaluer la population exposée et les priorités à donner.

- En ce qui concerne les données de santé :
 - De disposer de données sur la prévalence d'asthme à l'échelle des établissements. Des données sur les exacerbations d'asthme au sein des établissements permettraient aussi d'étudier les effets à court terme.

De telles données permettraient de disposer de quantifications plus fiables et ainsi de pouvoir informer et convaincre les parties prenantes d'agir.

4. CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

Ce travail a confirmé la pertinence et la faisabilité de réaliser des ÉQIS liées à la pollution de l'air dans et autour des établissements scolaires. L'étape d'identification des attentes et des enjeux, et notamment l'échange avec les acteurs, a souligné le besoin de mieux sensibiliser les différentes parties prenantes sur ce sujet et ainsi favoriser la mise en place d'actions pour garantir une meilleure qualité de l'air dans les écoles. Il a également permis une première application de cette approche aux couples formaldéhyde-asthme et moisissures-asthme même si de nombreuses incertitudes liées aux données disponibles ont pu par ailleurs être identifiées et que les résultats sont à considérer avec précaution.

Cette première application a permis de mettre en évidence que plusieurs dizaines de milliers de cas d'asthme chez les enfants 6 à 11 ans seraient évitables chaque année par une réduction des expositions au formaldéhyde et aux moisissures dans les salles de classe. Ce chiffre est estimé à près de 30 000 si toutes les écoles élémentaires présentaient des concentrations en formaldéhyde équivalentes à celles observées dans les salles de classe ayant un bon renouvellement d'air, soit près de 3 fois plus que dans un scénario où toutes les écoles respecteraient la valeur réglementaire de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. À ce stade, ce résultat ne peut être attribué au formaldéhyde seul et doit plus être considéré comme représentant l'effet du formaldéhyde en tant que marqueur de la pollution issue de sources internes et donc associés à la réduction de l'exposition à différents COV. Il illustre néanmoins l'intérêt de ces actions d'aération/ventilation et l'importance qu'elles se poursuivent au-delà de la crise sanitaire. À cela s'ajoute par ailleurs le bénéfice d'une éradication des problèmes de moisissures estimé à environ 12 000 cas de sifflements dans les douze derniers mois. Ces premières estimations renforcent donc plus largement l'importance d'un point de vue sanitaire de poursuivre les efforts sur la prise en compte des enjeux de QAI. Pour les collectivités, cela peut passer par l'intégration de critères sanitaires et environnementaux dans le choix des matériaux, meubles ou fournitures utilisés dans les établissements, la prise en compte des risques d'exposition juste après des travaux de rénovation ou un dégât des eaux ou l'entretien des systèmes de ventilation. Lever les freins à l'aération des salles de classe permettrait également facilement d'y améliorer la qualité de l'air intérieur. Ces actions nécessitent la prise en compte de ces enjeux de manière coordonnée entre les différents acteurs et notamment les collectivités territoriales et le ministère de l'Éducation nationale. En effet, même si la gestion des bâtiments scolaires relève de la compétence des collectivités, ces deux entités ont conjointement un rôle à jouer que ce soit de par leurs salariés présents dans ces structures mais aussi en tant qu'employeur garant de la santé et de la sécurité de son personnel. Ces premières estimations peuvent aider ces différents acteurs à prendre conscience du bénéfice concret de l'amélioration de la qualité de l'air de ces établissements sur la santé de l'enfant.

Dans la continuité de ce travail, des ÉQIS déclinées au niveau local seront réalisées. Elles permettront d'obtenir des estimations plus proches de l'échelle géographique d'actions pour les collectivités. Il s'agira de confirmer les estimations obtenues pour le formaldéhyde sur la base de données environnementales et sanitaires plus fines et d'appliquer la démarche au couple NO_2 -asthme. Le présent travail a en effet fait ressortir la pertinence et la faisabilité de premières ÉQIS visant à évaluer le bénéfice sanitaire d'actions de réduction de la pollution de l'air issue du trafic routier à proximité des établissements scolaires en milieu urbain. Une telle estimation, pourrait mieux sensibiliser les acteurs sur les retombées sanitaires que peut avoir l'environnement extérieur proche des établissements scolaires et favoriser ainsi la prise en compte de ces enjeux dans les choix d'aménagement et la construction effectués. Au-delà de ces travaux, de nombreuses données restent à acquérir afin de renforcer la robustesse des ÉQIS appliquées aux environnements intérieurs et notamment sur les relations concentration-risque. La prise en compte des expositions à l'école dans les cohortes existantes, ou la mise en place d'études épidémiologiques spécifiques, permettraient

notamment de mieux comprendre les conséquences de ces environnements sur la santé de l'enfant. En complément, des données sur le lien entre le bâti scolaire et l'environnement proche de l'école d'une part et les concentrations retrouvées dans les écoles d'autre part seraient utiles pour mieux comprendre les leviers d'action possibles pour réduire les expositions. Enfin, la réalisation d'un état des lieux des connaissances sur le lien entre CO₂ et apprentissage de l'enfant semble d'intérêt au vu des enjeux identifiés lors des échanges que nous avons eu avec les acteurs. En effet, de façon inhérente à la définition de santé globale apportée par l'Organisation mondiale de la santé en 1946 [90], il convient de tenir compte du bien-être des élèves au-delà de la santé physique dans l'objectif de promouvoir des écoles favorables à la santé et à l'apprentissage.

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Dassonville, C., C. Mandin, and Kirchner, S. *Pollutions à l'intérieur des espaces clos : sources, niveaux et impact sanitaire. Volet 1 : contaminants biologiques*. Arch. Mal. Prof. Environ., 2014. **75**(4).
2. Branco, P.T., et al., *Children's exposure to indoor air in urban nurseries--Part II: Gaseous pollutants' assessment*. Environ Res, 2015. **142**: p. 662-70.
3. Dassonville, C., et al., *Qualité de l'air intérieur et contamination des poussières déposées au sol dans les écoles en France*. 2019, Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur: Champs-sur-Marne. p. 178.
4. OQAI, *Qualité de l'air et confort dans les écoles en France : Premiers résultats de la Campagne nationale*, in *Bulletin de l'OQAI*. 2018, OQAI: Champs sur Marne. p. 12.
5. Annesi-Maesano, I., et al., *Indoor air quality and sources in schools and related health effects*. J Toxicol Environ Health B Crit Rev, 2013. **16**(8): p. 491-550.
6. Esty, B., et al., *Asthma and Allergies in the School Environment*. Clin Rev Allergy Immunol, 2019. **57**(3): p. 415-426.
7. Mendell, M.J. and G.A. Heath, *Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature*. Indoor Air, 2005. **15**(1): p. 27-52.
8. Gasana, J., et al., *Motor vehicle air pollution and asthma in children: a meta-analysis*. Environ Res, 2012. **117**: p. 36-45.
9. McConnell, R., et al., *Childhood incident asthma and traffic-related air pollution at home and school*. Environ Health Perspect, 2010. **118**(7): p. 1021-6.
10. Corso, M., et al., *Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (ÉQIS). ÉQIS avec une exposition mesurée*. 2019, Santé publique France: Saint Maurice. p. 92.
11. Medina, S., et al., *Quantifying the health impacts of outdoor air pollution: useful estimations for public health action*. J Epidemiol Community Health, 2013. **67**(6): p. 480-3.
12. Corso, M., et al., *Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (ÉQIS). ÉQIS avec une exposition mesurée*. 2019, Santé publique France. p. 92.
13. Badi, I., et al., *Cancer et environnement : expertise collective [Rapport de recherche]*. 2008, Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). p. 889.
14. Bertrand, C., M. Pascal, and S. Medina, *Do we know enough to quantify the impact of urban green spaces on mortality? An analysis of the current knowledge*. Public Health, 2021. **200**: p. 91-98.
15. Medina, S., et al., *Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine. Réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données sur le poids total pour la période 2016-2019*. . 2021, Santé publique France: Saint Maurice. p. 63.
16. Respire, A., *Pollution de l'air dans les écoles. Premier inventaire des établissements scolaires exposés à la pollution de l'air en Île-de-France*. 2019, Association Respire. p. 27.
17. Csobod, É., et al., *SINPHONIE. Pollution intérieure et santé dans les écoles - Réseau d'observation en Europe. Résumé exécutif du rapport final*. 2014, Commission Européenne: Luxembourg. p. 29.

18. Majd, E., *et al.*, *Indoor air quality in inner-city schools and its associations with building characteristics and environmental factors*. Environ Res, 2019. **170**: p. 83-91.
19. Ferreira, A.M. and M. Cardoso, *Indoor air quality and health in schools*. J Bras Pneumol, 2014. **40**(3): p. 259-68.
20. Gaillard, E.A., *et al.*, *European Respiratory Society clinical practice guidelines for the diagnosis of asthma in children aged 5-16 years*. Eur Respir J, 2021. **58**(5).
21. US EPA, *External review Draft - IRIS Toxicological Review of Formaldehyde: inhalation*, in *Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS)*. 2022, U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC.
22. Elias, J.A., *et al.*, *New insights into the pathogenesis of asthma*. J Clin Invest, 2003. **111**(3): p. 291-7.
23. Garrett, M.H., *et al.*, *Increased risk of allergy in children due to formaldehyde exposure in homes*. Allergy, 1999. **54**(4): p. 330-7.
24. Marks, J.G., *et al.*, *North American Contact Dermatitis Group patch test results for the detection of delayed-type hypersensitivity to topical allergens*. J Am Acad Dermatol, 1998. **38**(6 Pt 1): p. 911-8.
25. Thompson, C.M. and R.C. Grafstrom, *Mechanistic considerations for formaldehyde-induced bronchoconstriction involving S-nitrosoglutathione reductase*. J Toxicol Environ Health A, 2008. **71**(3): p. 244-8.
26. Anses, *Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Mise à jour de valeurs guides de l'air intérieur : le formaldéhyde*, in *Edition scientifique*. 2018, Anses: Maisons-Alfort.
27. HCSP, *Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur : formaldéhyde*. 2019, HCSP: Paris.
28. La Torre, G., *et al.*, *Relationship between formaldehyde exposure, respiratory irritant effects and cancers: a review of reviews*. Public Health, 2023. **218**: p. 186-96.
29. Lam, J., *et al.*, *Exposure to formaldehyde and asthma outcomes: A systematic review, meta-analysis, and economic assessment*. PLoS One, 2021. **16**(3): p. e0248258.
30. Yu, L., *et al.*, *Association between indoor formaldehyde exposure and asthma: A systematic review and meta-analysis of observational studies*. Indoor Air, 2020. **30**(4): p. 682-690.
31. Bazaruto, J.V., *et al.*, *EfgA is a conserved formaldehyde sensor that leads to bacterial growth arrest in response to elevated formaldehyde*. PLoS Biol, 2021. **19**(5): p. e3001208.
32. Petit, P.C., *et al.*, *The Pathophysiology of Nitrogen Dioxide During Inhaled Nitric Oxide Therapy*. ASAIO J, 2017. **63**(1): p. 7-13.
33. US EPA, *Integrated Science Assessment (ISA) for Oxides of Nitrogen – Health Criteria (Final Report, Jan 2016)*. 2016, U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC.
34. World Health Organization, *WHO guidelines for indoor air quality. Dampness and Mould*. 2009, World Health Organization. p. 228.
35. Anses, *Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Moisissures dans le bâti*, in *Edition scientifique*. 2016, Anses: Maisons-Alfort, France. p. 345.
36. McGwin, G., J. Lienert, and J.I. Kennedy, *Formaldehyde exposure and asthma in children: a systematic review*. Environ Health Perspect, 2010. **118**(3): p. 313-7.

37. Lin, W., B. Brunekreef, and U. Gehring, *Meta-analysis of the effects of indoor nitrogen dioxide and gas cooking on asthma and wheeze in children*. *Int J Epidemiol*, 2013. **42**(6): p. 1724-37.
38. Khreis, H., *et al.*, *Exposure to traffic-related air pollution and risk of development of childhood asthma: A systematic review and meta-analysis*. *Environ Int*, 2017. **100**: p. 1-31.
39. Han, K., *et al.*, *Traffic-related organic and inorganic air pollution and risk of development of childhood asthma: A meta-analysis*. *Environ Res*, 2021. **194**: p. 110493.
40. Host, S., *et al.*, *Bénéfices sanitaires attendus d'une zone à faibles émissions : évaluation quantitative d'impact sanitaire prospective pour l'agglomération parisienne*. 2018, Observatoire Régionale de Santé: Paris. p. 106.
41. Fisk, W.J., W.R. Chan, and A.L. Johnson, *Does dampness and mold in schools affect health? Results of a meta-analysis*. *Indoor Air*, 2019. **29**(6): p. 895-902.
42. Antova, T., *et al.*, *Exposure to indoor mould and children's respiratory health in the PATY study*. *J Epidemiol Community Health*, 2008. **62**(8): p. 708-14.
43. Fisk, W.J., Q. Lei-Gomez, and M.J. Mendell, *Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes*. *Indoor Air*, 2007. **17**(4): p. 284-96.
44. Holst, G.J., *et al.*, *Allergy and respiratory health effects of dampness and dampness-related agents in schools and homes: a cross-sectional study in Danish pupils*. *Indoor Air*, 2016. **26**(6): p. 880-891.
45. Mi, Y.H., *et al.*, *Current asthma and respiratory symptoms among pupils in Shanghai, China: influence of building ventilation, nitrogen dioxide, ozone, and formaldehyde in classrooms*. *Indoor Air*, 2006. **16**(6): p. 454-64.
46. Taskinen, T., *et al.*, *Asthma and respiratory infections in school children with special reference to moisture and mold problems in the school*. *Acta Paediatr*, 1999. **88**(12): p. 1373-9.
47. Quansah, R., *et al.*, *Residential dampness and molds and the risk of developing asthma: a systematic review and meta-analysis*. *PLoS One*, 2012. **7**(11): p. e47526.
48. Tischer, C.G., *et al.*, *Meta-analysis of mould and dampness exposure on asthma and allergy in eight European birth cohorts: an ENRIECO initiative*. *Allergy*, 2011. **66**(12): p. 1570-9.
49. Delmas, M.C., C. Marguet, and B. Leynaert, *Time trends in the prevalence of asthma in French schoolchildren*. *Respir Med Res*, In press.
50. Delmas, M.C., *et al.*, *Évolution de la prévalence de l'asthme chez l'enfant en France : enquêtes nationales de santé en milieu scolaire 2003-2008*. *Bull Epidemiol Heb*, 2014. **20**: p. 360-5.
51. Eder, W., M.J. Ege, and E. von Mutius, *The asthma epidemic*. *N Engl J Med*, 2006. **355**(21): p. 2226-35.
52. Kay, A.B., *Allergy and allergic diseases. First of two parts*. *N Engl J Med*, 2001. **344**(1): p. 30-7.
53. World Health Organization, *WHO air quality guidelines global update 2005*. 2005, World Health Organization: Bonn, Germany.
54. Roche, N., *et al.*, *Asthma burden according to treatment steps in the French population-based cohort Constances*. *Respir Med*, 2023. **206**: p. 107057.

55. Clark, S.N., *et al.*, *The Burden of Respiratory Disease from Formaldehyde, Damp and Mould in English Housing*. *Environments*, 2023. **10**: p. 136.
56. Hanninen, O., *et al.*, *Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries*. *Environ Health Perspect*, 2014. **122**(5): p. 439-46.
57. Rojas-Rueda, D., *et al.*, *Environmental Burden of Childhood Disease in Europe*. *Int J Environ Res Public Health*, 2019. **16**(6).
58. Caserio-Schönemann, C., *et al.*, *Surveillance sanitaire de l'asthme - Rentrée scolaire 2021. Point hebdomadaire du 30 août 2021.*, in *Le point hebdomadaire*. 2021, Santé publique France: Saint Maurice. p. 3.
59. AIR-APS, *et al.*, *Mesure des aldéhydes dans l'air intérieur des écoles maternelles et des crèches en Rhône-Alpes*. 2007. p. 44.
60. Airparif. *Mesure de la qualité de l'air aux abords des crèches, écoles et collèges*. 2021 [cited 2022 18 May 2022]; Available from: <https://www.airparif.asso.fr/actualite/2021/mesure-de-la-qualite-de-lair-aux-abords-des-creches-ecoles-et-colleges>
61. Langer, S., *et al.*, *Indoor environmental quality in French dwellings and building characteristics*. *Atmos Environ*, 2016. **128**: p. 82-91.
62. Ramalho, O., *et al.*, *Moisissures visibles dans les écoles et crèches en France*. *Rev Mal Respir*, 2018. **35**(6): p. 659-72.
63. Sivanantham, S., *et al.*, *Coexposure to indoor pollutants in French schools and associations with building characteristics*. *Energy and Buildings*, 2021. **252**.
64. Zhong, L., F.C. Su, and S. Batterman, *Volatile Organic Compounds (VOCs) in Conventional and High Performance School Buildings in the U.S*. *Int J Environ Res Public Health*, 2017. **14**(1).
65. MENESR, *L'Éducation nationale en chiffres*. 2015, Ministère de l'Éducation nationale de la Jeunesse et des Sports: Paris. p. 20.
66. Décret n°2022-1690, *Décret décret n°2022-1690 du 27 décembre 2022 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public*. 2022.
67. Zeghnoun, A. and F. Dor, *Description du budget espace-temps et estimation de l'exposition de la population française dans son logement*. 2010, Institut de veille sanitaire: Saint Maurice. p. 37.
68. Bard, D., *et al.*, *Cancer : approche méthodologique du lien avec l'environnement*. , in *[Rapport de recherche]*. 2005, Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). p. 96.
69. Bougas, N., *et al.*, *Traffic-related Air Pollution, Lung Function, and Host Vulnerability. New Insights from the PARIS Birth Cohort*. *Ann Am Thorac Soc*, 2018. **15**(5): p. 599-607.
70. Delmas, M.C., *et al.*, *Augmentation de la prévalence de l'asthme chez le jeune enfant en France*. *Rev Mal Respir*, 2017. **34**: p. 525-34.
71. Aaron, S.D., *et al.*, *Underdiagnosis and Overdiagnosis of Asthma*. *Am J Respir Crit Care Med*, 2018. **198**(8): p. 1012-1020.
72. Moularat, S., *et al.*, *Detection of fungal development in a closed environment through the identification of specific VOC: demonstration of a specific VOC fingerprint for fungal development*. *Sci Total Environ*, 2008. **407**(1): p. 139-46.

73. Moularat, S., et al., *Detection of fungal development in closed spaces through the determination of specific chemical targets*. Chemosphere, 2008. **72**(2): p. 224-32.
74. Yvon, J. and M. Yvroud, *Évaluation quantitative d'impact sur la santé (ÉQIS) de la pollution de l'air ambiant en région Auvergne-Rhône-Alpes, période 2016-2018*. 2021, Santé publique France: Saint-Maurice. p. 66.
75. HCSP, *Avis relatif à la mesure du dioxyde de carbone dans l'air intérieur des établissements recevant du public 2022*, HCSP: Paris.
76. Guerriero, C., et al., *The economic benefits of reducing the levels of nitrogen dioxide (NO₂) near primary schools: The case of London*. J Environ Manage, 2016. **181**: p. 615-622.
77. Zhang, L., et al., *Characteristics of air pollutants inside and outside a primary school classroom in Beijing and respiratory health impact on children*. Environ Pollut, 2019. **255**(Pt 1): p. 113147.
78. Greillet, C., et al., *Estimation de l'impact sanitaire associé à l'exposition au formaldéhyde dans les environnements intérieurs*. Environ Risque Sante, 2016. **15**: p. 48-61.
79. Mesa-Frias, M., Z. Chalabi, and A.M. Foss, *Quantifying uncertainty in health impact assessment: a case-study example on indoor housing ventilation*. Environ Int, 2014. **62**: p. 95-103.
80. Fisk, W.J., A.G. Mirer, and M.J. Mendell, *Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates*. Indoor Air, 2009. **19**(2): p. 159-65.
81. Brink, H.W., et al., *Classrooms' indoor environmental conditions affecting the academic achievement of students and teachers in higher education: A systematic literature review*. Indoor Air, 2021. **31**(2): p. 405-425.
82. Wargocki, P., et al., *The relationships between classroom air quality and children's performance in school*. Building and Environment, 2020. **173**.
83. Mandin, C., et al., *Renouvellement de l'air insuffisant dans les écoles : un constat établi de longue date*. Bull Epidemiol Hebd, 2022. (**19-20**): p. 349-53.
84. Guillam, M.T., et al., *Enquête descriptive nationale sur les écoles et les crèches et leurs pratiques d'aération*. 2011. p. 110.
85. Airparif, *Projet "Aérons". Rapport de synthèse*. 2021, Airparif: Paris. p. 27.
86. Ademe, *Ecol'air. Les outils pour une bonne gestion de la qualité de l'air dans les écoles*. 2018.
87. Salthammer, T., S. Mentese, and R. Marutzky, *Formaldehyde in the indoor environment*. Chem Rev, 2010. **110**(4): p. 2536-72.
88. Anses, *Avis de l'Anses. Expertise hors évaluation des risques relatives à l'état des connaissances sur la présence ou l'émission de substances dangereuses dans des fournitures scolaires et de bureau et leur impact éventuel sur la santé*. 2022, Anses: Maisons-Alfort. p. 70.
89. Charpin, D., et al., *Présentation générale de l'étude ISAAC*. Rev. Francaise D Allergol. Et D Immunol. Clin., 1998. **38**(4): p. 275-82.
90. OMS, *Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la santé, New York, 19-22 juin 1946 ; signé le 22 juillet 1946 par les représentants de 61 États. 1946 (Actes officiels de l'Organisation mondiale de la santé, n° 2, p. 100) et entré en vigueur le 7 avril 1948*. 1946.

91. Huang, C., et al., *Household indoor air quality and its associations with childhood asthma in Shanghai, China: On-site inspected methods and preliminary results*. Environ Res, 2016. **151**: p. 154-167.
92. Yon, D.K., et al., *Indoor Exposure and Sensitization to Formaldehyde among Inner-City Children with Increased Risk for Asthma and Rhinitis*. Am J Respir Crit Care Med, 2019. **200**(3): p. 388-393.
93. Zhai, L., et al., *Influence of indoor formaldehyde pollution on respiratory system health in the urban area of Shenyang, China*. Afr Health Sci, 2013. **13**(1): p. 137-43.
94. Annesi-Maesano, I., et al., *Poor air quality in classrooms related to asthma and rhinitis in primary schoolchildren of the French 6 Cities Study*. Thorax, 2012. **67**(8): p. 682-8.
95. Branco, P., et al., *Impact of indoor air pollution in nursery and primary schools on childhood asthma*. Sci Total Environ, 2020. **745**: p. 140982.
96. Neamtiu, I.A., et al., *Assessment of formaldehyde levels in relation to respiratory and allergic symptoms in children from Alba County schools, Romania*. Environ Monit Assess, 2019. **191**(9): p. 591.
97. Sa, J.P., et al., *Children's exposure to indoor air in schools: impact on wheezing*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2019. **236**: p. 205-12.
98. Sasso, F., et al., *18-year evolution of asthma and allergic diseases in French urban schoolchildren in relation to indoor air pollutant levels*. Respir Med, 2019. **148**: p. 31-36.
99. Zheng, X.Y., et al., *Short-term exposure to ozone, nitrogen dioxide, and sulphur dioxide and emergency department visits and hospital admissions due to asthma: A systematic review and meta-analysis*. Environ Int, 2021. **150**: p. 106435.
100. World Health Organization, *Health risks of air pollution in Europe - HRAPIE project - Recommendations for concentration-response functions for cost-benefits analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. 2013, WHO Regional office for Europe: Copenhagen, Denmark. p. 1-60.
101. Fan, X.J., et al., *Asthma symptoms among Chinese children: the role of ventilation and PM(10) exposure at school and home*. Int J Tuberc Lung Dis, 2017. **21**(11): p. 1187-1193.
102. Kim, J.L., et al., *Respiratory health among Korean pupils in relation to home, school and outdoor environment*. J Korean Med Sci, 2011. **26**(2): p. 166-73.
103. Mi, Y.H., et al., *Current asthma and respiratory symptoms among pupils in Shanghai, China: influence of building ventilation, nitrogen dioxide, ozone, and formaldehyde in classrooms*. Indoor Air, 2006. **16**(6): p. 454-64.
104. Zhao, Z., et al., *Asthmatic symptoms among pupils in relation to winter indoor and outdoor air pollution in schools in Taiyuan, China*. Environ Health Perspect, 2008. **116**(1): p. 90-7.
105. Ranciere, F., et al., *Early Exposure to Traffic-Related Air Pollution, Respiratory Symptoms at 4 Years of Age, and Potential Effect Modification by Parental Allergy, Stressful Family Events, and Sex: A Prospective Follow-up Study of the PARIS Birth Cohort*. Environ Health Perspect, 2017. **125**(4): p. 737-745.
106. Dell, S.D., et al., *Presence of other allergic disease modifies the effect of early childhood traffic-related air pollution exposure on asthma prevalence*. Environ Int, 2014. **65**: p. 83-92.
107. Kim, J.J., et al., *Traffic-related air pollution near busy roads: the East Bay Children's Respiratory Health Study*. Am J Respir Crit Care Med, 2004. **170**(5): p. 520-6.

108. Penard-Morand, C., *et al.*, *Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children*. Eur Respir J, 2010. **36**(1): p. 33-40.
109. Pikhart, H., *et al.*, *Outdoor air concentrations of nitrogen dioxide and sulfur dioxide and prevalence of wheezing in school children*. Epidemiology, 2000. **11**(2): p. 153-60.
110. Hirsch, T., *et al.*, *Inner city air pollution and respiratory health and atopy in children*. Eur Respir J, 1999. **14**(3): p. 669-77.
111. Sharpe, R.A., *et al.*, *Indoor fungal diversity and asthma: a meta-analysis and systematic review of risk factors*. J Allergy Clin Immunol, 2015. **135**(1): p. 110-22.
112. Vandentorren, S., *et al.*, *Rationales, design and recruitment for the Elfe longitudinal study*. BMC Pediatr, 2009. **9**: p. 58.
113. Clarisse, B., *et al.*, *The Paris prospective birth cohort study: which design and who participates?* Eur J Epidemiol, 2007. **22**(3): p. 203-10.

6. ANNEXES

Annexe 1. Liste des entités sollicitées dans le cadre des entretiens

Catégories	Entité d'appartenance (nombre de personnes)
Établissements publics et/ou administrations sanitaires ou environnementales	Santé publique France (N=6)
	Direction générale de la Santé (N=2)
	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (N=2)
	Ademe – Agence de la transition écologique (N=2)
	Écoles de hautes études en santé publique (N=1)
	Centre scientifique et technique du bâtiment – Observatoire de la qualité de l'air intérieur (N=2)
Associations et représentants de citoyens	Fédération ATMO France (N=1)
	Observatoire régionale de santé d'île-de-France (N=1)
	France Nature Environnement (N=1)
	Association Respire (N=2)
	<i>Health & Environment Alliance</i> (HEAL) (N=1)
Collectivités et élus	Ville de Paris (N=1)
	Ville de Grenoble (N=1)

Annexe 2. Grille d'évaluation de la qualité des articles retenus à partir de la recherche bibliographique

	Critère de qualité
Étude	Type d'étude
	Étude écologique
	Étude transversale
	Étude de cohorte
	Échelle géographique de l'étude
	Locale/Régionale
	Nationale
	Supranationale
Population	Biais de sélection
	Les participants de tous les niveaux d'exposition n'ont pas eu les mêmes chances de participer à l'étude, au point que les estimations des effets sont gravement biaisées
	Les participants de tous les niveaux d'exposition n'ont pas eu les mêmes chances de participer à l'étude, mais pas au point que les estimations des effets soient vraiment biaisées (justification requise).
	Les participants de tous les niveaux d'exposition et de tous les indicateurs de santé ont eu les mêmes chances de participer à l'étude.
	Représentativité
	Non représentatif de la population cible (hôpital/population générale)
	Représentatif de la population cible (hôpital/population générale)
	Taille
	<500
	500-2 000
>2 000	
Indicateurs de santé	Méthode d'évaluation (construction de l'indicateur plus ou moins détaillée)
	Peu détaillée
	Bien détaillée
	Collecte des indicateurs
	Déclaré (questionnaire auto-administré)
	Mesuré (diagnostic clinique, mesures biologiques...)
	Méthode de mesure de l'indicateur
	Non validée ou peu spécifique
	Validée (CIM-10 ou autres critères cliniques spécifiques)
	Durée de suivi (pour les études de cohorte)
	Pas de suivi
	< deux ans
Plus de deux ans	
Indicateurs d'exposition	Méthode d'évaluation (construction de l'indicateur d'exposition plus ou moins détaillée)
	Peu détaillée
	Bien détaillée
	Type de mesure de l'exposition (pour les études long terme uniquement)
	Déclaratif
	Modèle d'exposition (modèle de dispersion, LUR, données satellitaires...)
	Réalisation de mesures à l'aide de capteurs sur le lieu d'exposition
	Considération de la variabilité de l'exposition dans le temps
	Non
	Oui

Analyses statistiques	Modèle statistique
	Absence de prise en compte de la corrélation dans les données sanitaires (effet aléatoire, autocorrélation spatiale...)
	Prise en compte de la corrélation dans les données sanitaires (effet aléatoire, autocorrélation spatiale...)
	Prise en compte des facteurs de confusion/modification potentiels
	Les principaux facteurs de confusion/modification, autres que des facteurs environnementaux, n'ont pas été pris en compte (statut socio-économique, âge, sexe, comorbidités, offre de soins...)
	Les principaux facteurs de confusion/modification, autres que des facteurs environnementaux, ont été pris en compte (statut socio-économique, âge, sexe, comorbidités, offre de soins...)
	Un nombre important de facteurs de confusion/modification ont été pris en compte
	Modèle statistique
	Absence de prise en compte de la corrélation dans les données sanitaires (effet aléatoire, autocorrélation spatiale...)
	Prise en compte de la corrélation dans les données sanitaires (effet aléatoire, autocorrélation spatiale...)
	Prise en compte des données manquantes
	Non
	Oui
	Adéquation de l'échelle spatiale de l'indicateur de santé à l'unité géographique analysée
	Non
	Oui
Adéquation de l'échelle spatiale et/ou temporelle de l'indicateur d'exposition à l'unité géographique analysée	
Non	
Oui	
Autres critères pris en compte	Adéquation des résultats aux objectifs de l'étude
	Les résultats de l'étude ne répondent pas complètement aux objectifs (incluant un risque de surinterprétation)
	Les résultats de l'étude répondent complètement aux objectifs
	Article revu par les pairs
	Non
	Oui
	Impact factor de la revue dans laquelle a été publié l'article
	< 5
≥ 5	

Annexe 3. Présentation détaillée des études incluses pour l'analyse des fonctions Concentration-Risque pour les trois couples retenus

Formaldéhyde et asthme de l'enfant

Résultats des méta-analyses

Parmi les trois méta-analyses portant sur le lien entre le formaldéhyde et la prévalence de l'asthme ou des symptômes évocateurs d'asthme identifiées par la recherche bibliographique [29, 30, 36], deux établissaient des méta-risques spécifiquement pour le milieu scolaire [30, 36]. Les méta-risques de l'étude de Yu et al, la plus récente de ces deux méta-analyses, sont présentés dans le Tableau A1.

Tableau A1 : Odds ratio présentés dans la méta-analyse de Yu et al., 2020 [30]

Sous-groupes	Nb d'études	Association		Paramètres associés	
		OR	Intervalle de confiance à 95 %	I ² ¹⁰	P pour hétérogénéité ¹¹
Tous	10	1,10	1,00 ; 1,21	63,10 %	0,004
Occident	4	1,10	0,99 ; 1,22	53,9 %	0,089
Écoles	6	1,05	1,00 ; 1,10	0,00 %	0,058

Parmi les 10 études prise en compte dans cette méta-analyse, trois étaient des études cas-témoins, 6 des études transversales et 1 était une étude de cohorte. Dans la majorité des 6 études réalisées à l'école, l'exposition avait été évaluée par une mesure des concentrations par prélèvements passifs durant une semaine dans les salles de classe et la prévalence de l'asthme (asthme vie ou asthme durant les douze derniers mois) avait été évaluée par questionnaire. Deux des 6 études avaient inclus des enfants de pays occidentaux et 4 présentaient des concentrations de formaldéhyde considérées comme faibles (médiane inférieure à 22,5 µg/m³). À noter que, dans la Campagne nationale Écoles de l'OQAI, la médiane de la concentration en formaldéhyde était de 19,3 µg/m³ [3]. La robustesse de cette étude était limitée et après vérification, il s'est avéré que les auteurs n'avaient pas tenu compte des différences d'incrément utilisés dans les études individuelles pour le calcul des OR. Ainsi, après recalcul, l'OR n'était pas de 1,05 (IC95 % [1,00 ; 1,10]) mais de 1,18 (IC95 % [0,97 ; 1,44]) pour une augmentation de 10 µg/m³. Cette méta-analyse n'a donc finalement pas été retenue. L'autre méta-analyse ayant estimé le risque de prévalence d'asthme chez l'enfant lié à l'exposition au formaldéhyde à l'école datait de 2010 et reposait sur 4 études uniquement [36]. Elle a estimé un méta-risque de 1,33 (IC95 % [1,02 ; 1,74]) pour une augmentation de 10 µg/m³. Le nombre d'études étant limité, elle a uniquement été retenue pour d'éventuelles analyses de sensibilité.

Une méta-analyse datant de 2021 a été identifiée par ailleurs [29]. Il s'agit de l'étude de Lam et al. portant sur l'exposition au formaldéhyde en intérieur, considérant l'école et le domicile, et le diagnostic d'asthme chez l'enfant. Ils ont ainsi estimé que l'association avec une augmentation du risque d'asthme (asthme diagnostiqué et asthme actuel) était de 1,20 [1,02 ; 1,41] et de 1,08 [0,92 ; 1,28] pour le risque de sifflements dans les douze derniers mois. Les populations des études incluses dans cette méta-analyse étaient constituées d'enfants

¹⁰ Test I² : Inférieur à 25 % : hétérogénéité faible ou absente ; entre 25 % et 50 % hétérogénéité modérée ; Supérieur à 50 % hétérogénéité élevée.

¹¹ Test Q de Cochran : P<0.10 hétérogénéité élevée.

âgés de 6 à 15 ans et les gammes de concentrations similaires à celles observées en France. Cette méta-analyse était basée sur une analyse poussée de la qualité et de la robustesse des études. Ainsi, certaines études retenues par Yu *et al.* n'étaient pas incluses dans la méta-analyse de Lam *et al.* [91-93]. Cette méta-analyse a donc été retenue pour les analyses principales en lien avec la prévalence d'asthme. À noter que sur la base des résultats analysés, les auteurs de cette méta-analyse confirmaient l'association entre l'exposition et le diagnostic d'asthme mais indiquaient que les preuves d'une relation dose-réponse linéaire étaient encore limitées.

Aucune méta-analyse sur les effets à court terme du formaldéhyde en termes de survenue d'exacerbations de l'asthme n'a été trouvée.

Résultats des études individuelles

Cinq articles individuels publiés entre 2012 et 2020 figuraient dans la recherche bibliographique relative au couple **formaldéhyde/asthme** [94-98]. Les quatre articles antérieurs à la méta-analyse de Yu *et al.* ne figuraient pas dans la bibliographie de cette dernière [94, 95, 97, 98]. Pour la méta-analyse de Lam *et al.*, trois d'entre eux ne figuraient pas [95, 97, 98].

Deux articles étaient basés sur des données françaises :

- L'étude d'Annesi-Maesano *et al.* (2012) avait pour but d'évaluer la QAI dans les écoles dans le cadre de l'étude des 6 villes [94]: 4 643 enfants, sélectionnés dans 401 salles de classe de 108 écoles françaises, ont été inclus.
- L'étude de Sasso *et al.* (2019) avait pour objectif de mesurer la prévalence de l'asthme et des allergies et de réévaluer les niveaux de pollution dans des écoles de la ville de Marseille 10 ans après l'étude des 6 villes [98] : 1 199 écoliers ont été inclus.

Après examen des cinq articles :

- Annesi-Maesano *et al.*, Sasso *et al.* et Neamtii *et al.* fournissaient des RR en fonction de classes d'exposition, ne permettant pas d'établir une relation concentration risque [94, 96, 98];
- Branco *et al.* et Sa *et al.* ont inclus des enfants âgés de 3 à 10 ans [95, 97].

Ces articles n'étaient donc pas susceptibles de modifier les méta-risques proposés par Yu *et al.* et Lam *et al.* en vue de l'ÉQIS et n'ont donc pas été retenus.

Par ailleurs, aucune étude portant sur les effets à court terme ni sur l'incidence de l'asthme n'a été identifiée.

NO₂ et asthme de l'enfant

Résultats des méta-analyses

Aucune méta-analyse considérant l'exposition à l'école n'a été identifiée dans la littérature.

Une méta-analyse portant sur l'exposition au NO₂ dans les logements et l'asthme chez l'enfant a été identifiée [37]. Cette étude estimait à 1,09 [0,91 ; 1,31] et à 1,15 [1,06 ; 1,24] les OR entre une augmentation de 30 µg/m³ de NO₂ et respectivement la prévalence d'asthme (asthme vie et actuel) et de sifflements dans les douze derniers mois. Le nombre d'études incluses pour estimer l'association entre NO₂ et le risque d'asthme était limité (N=4) et les études étaient assez anciennes (avant 2000). Pour le risque de sifflements, 7 études, publiées entre 1991 et 2013, ont été incluses. Six avaient été menées aux USA, en Espagne ou en Australie, 5 portaient sur des enfants d'âge scolaire.

Par ailleurs, plusieurs méta-analyses ont été publiées sur l'exposition aux polluants issus du trafic routier (TRAP) en milieu extérieur et l'asthme chez l'enfant [8, 38, 39, 99]. Celles portant sur les effets à long terme étaient basées sur des études considérant, pour certaines, l'incidence de l'asthme comme indicateur sanitaire et, pour d'autres, la prévalence. La population d'étude concernait les 0-17 ans.

L'utilisation des relations C-R issues de certaines de ces études est recommandée dans le guide ÉQIS-PA de Santé publique France [10] et notamment le RR issu de l'étude de Khreis *et al.* (2017) identifié pour l'incidence de l'asthme chez l'enfant [38] pour les effets à long terme et celui de Host *et al.* (2018) défini pour le risque de passages aux urgences dans cette même population [40]. Pour le risque d'hospitalisation pour causes respiratoires [100] celui-ci n'était pas adapté car proposé pour l'ensemble de la population. Pour le risque d'hospitalisation pour causes respiratoires [100] celui-ci n'était pas adapté car proposé pour l'ensemble de la population. Il n'a donc pas été retenu. À noter que dans le travail de Host *et al.* [40], un méta-risque avait également été spécifiquement calculé entre l'exposition au NO₂ et le risque de survenue de nouveaux cas d'asthme chez l'enfant (OR : 1,054 [1,013 ; 1,097]).

Deux méta-analyses ont été publiées depuis et notamment :

- L'étude de Han *et al.* (2021) qui estime une augmentation du risque d'asthme chez l'enfant de 1,11 [1,06 ; 1,17] pour une augmentation de 10 µg/m³ de NO₂ [39] contre 1,13 [1,05 ; 1,18] dans l'étude de Khreis *et al.* [38]. Cette étude a été retenue pour d'éventuelles analyses de sensibilité. Le méta-risque calculé spécifiquement au sein des populations européennes a été jugé le plus pertinent à considérer (OR : 1,09 [1,03 ; 1,15]) ;
- L'étude de Zheng *et al.* (2021) portant sur les effets à court terme de la pollution de l'air ambiant et qui estime une augmentation de 1,020 [1,011 ; 1,029] du risque de passages aux urgences et/ou hospitalisation de l'enfant pour une augmentation de 10 µg/m³ de NO₂ [99]. Cette étude n'a pas été retenue dans la mesure où elle considérait conjointement les passages aux urgences et hospitalisations pour asthme.

Résultats des études individuelles

Dix études individuelles portant sur l'exposition à l'école au NO₂ et la prévalence de l'asthme ou de symptômes évocateurs d'asthme ont été identifiées. Parmi elles, quatre étaient incluses dans les méta-analyses publiées sur l'exposition aux Polluants issus du trafic routier (TRAP) et basées sur une modélisation des expositions à l'adresse des écoles et/ou domicile. Six, identifiées par la requête bibliographique, étaient basées sur des mesures dans les cours des écoles ou dans les salles de classe. Le tableau A2 présente les études qui ont été jugées robustes. Le détail de chaque étude est présenté dans le tableau A3.

Tableau A2 : Présentation des études individuelles identifiées sur exposition au NO₂ à l'école et prévalence de l'asthme chez l'enfant

Indicateur sanitaire	Indicateur d'exposition	Zone géographique	Référence
Prévalence de l'asthme (et/ou sifflements)	Estimation par modélisation à l'adresse de l'école, ou école + domicile (LUR et/ou IDW)	Occidental	Hirsch <i>et al.</i> 1999 (NO ₂) Pikhart <i>et al.</i> 2 000 (NO ₂) Penard-Morand <i>et al.</i> 2010 (NO ₂ et PM ₁₀ , FR) Dell <i>et al.</i> 2014 (NO ₂)
	Mesure dans la cour d'école par prélèvement passif	Occidental	Kim <i>et al.</i> 2004 (NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5})
		Autres	Mi <i>et al.</i> 2006 (NO ₂) Zhao <i>et al.</i> 2008 (NO ₂) Kim <i>et al.</i> 2011 (NO ₂) Fan <i>et al.</i> 2017 (NO ₂ , PM ₁₀)
	Mesure dans les classes par prélèvement passif	Autres	Mi <i>et al.</i> 2006 (NO ₂) Zhao <i>et al.</i> 2008 (NO ₂) Kim <i>et al.</i> 2011 (NO ₂) Fan <i>et al.</i> 2017 (NO ₂ , PM ₁₀)
Incidence de l'asthme	Mesure dans la cour d'école par prélèvement passif pendant une semaine	Autres	Li <i>et al.</i> 2020 (NO ₂ et PM ₁₀)

Il convient cependant de noter que, dans les études ayant réalisé des mesures dans les cours d'école ou dans les salles de classe, les concentrations de NO₂ étaient plus élevées que celles observées en France. Alors que la concentration moyenne hebdomadaire en NO₂ dans les salles de classe était de 8,4 µg/m³ selon la CNE, les concentrations moyennes mesurées dans les études sélectionnées se situaient entre 18 et 55 µg/m³ [101-104].

Enfin, quatre études françaises n'ont pas été retenues :

- Celles d'Annesi-Mesano *et al.* (2012) et de Sasso *et al.* (2019) qui, comme indiqué précédemment, ne présentaient de relations concentration-risque [94, 98] ;
- Celles de Bougas *et al.* (2018) et de Rancière *et al.* (2017) qui étudiaient l'exposition uniquement à la crèche et/ou reposaient sur les paramètres de la fonction respiratoire et non la prévalence/l'incidence de la maladie et ne correspondaient donc pas à la population ciblée dans le cadre de notre étude [69, 105].

Construction de nouveaux méta-risques

Le travail de recherche bibliographique a permis d'identifier onze études individuelles portant spécifiquement sur l'association entre l'exposition au NO₂ à l'école et l'asthme de l'enfant. Les études utilisées et les fonctions C-R associées sont décrites ci-dessus.

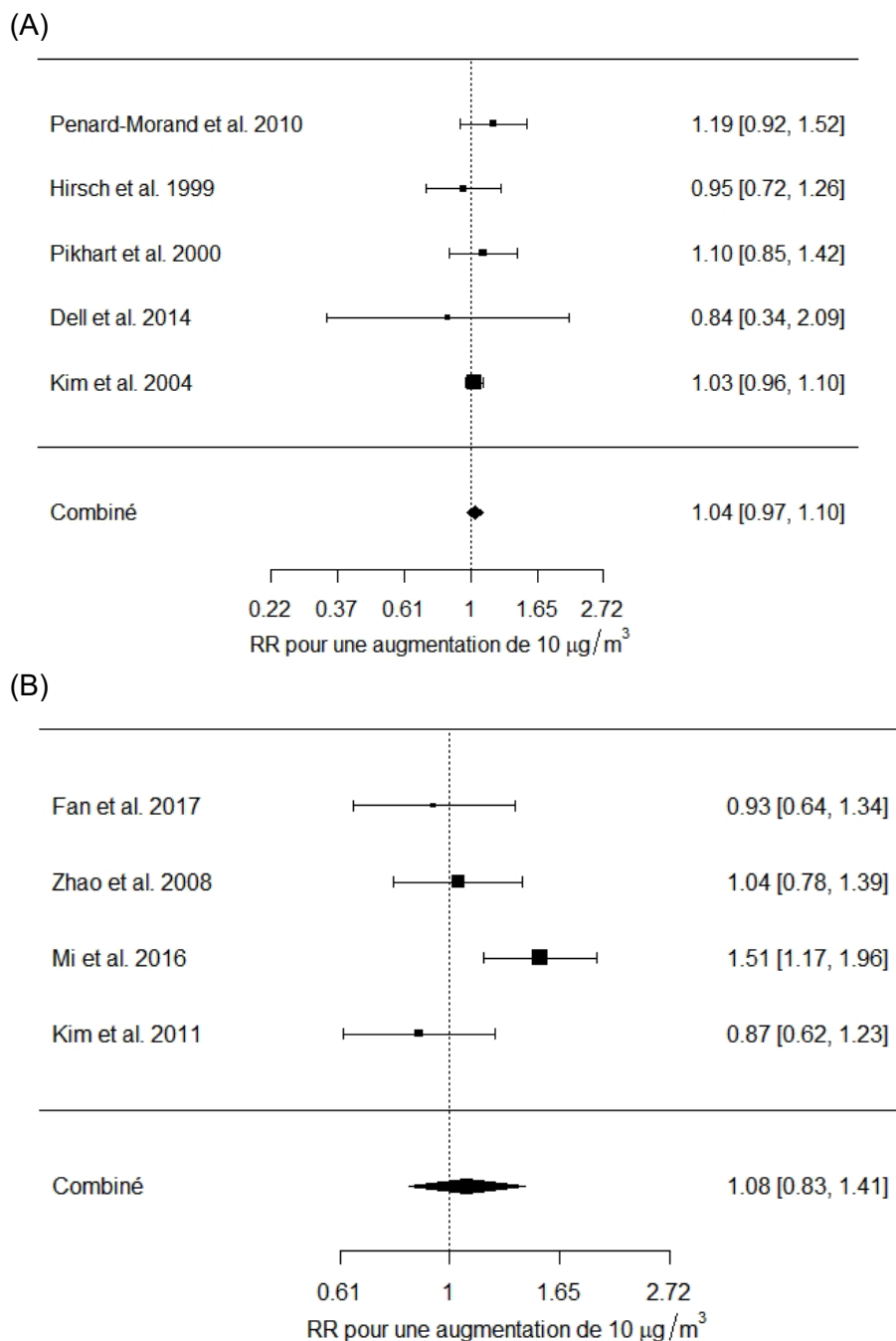
Ces études ont permis d'envisager la construction de deux méta-risques :

- Un méta-risque basé sur les résultats des études occidentales ayant modélisé les concentrations de NO₂ à l'adresse des écoles et/ou du domicile (N=5) [106-110] ;
- Un méta-risque basé sur les résultats d'études « tous pays » ayant mesuré les concentrations en NO₂ pendant 1 semaine dans les salles de classe (N=4) [45, 101, 102, 104].

Les deux OR ainsi calculés étaient non significatifs (Figure A1). Par ailleurs, la robustesse était jugée limitée en raison du peu d'études disponibles (moins de 5). Pour le méta-risque ayant mesuré l'exposition dans les salles de classe, l'applicabilité était limitée vu que les études

individuelles n'ont pas été conduites dans des pays européens et/ou nord-américain (voir début de la section). Ces méta-risques n'ont donc pas été retenus.

Figure A1 : Méta-risques estimés entre l'exposition au NO₂ à l'école, basé sur une évaluation par modélisation des concentrations extérieures à l'adresse des écoles (A) ou par mesure des concentrations hebdomadaires dans les salles de classe (B), et l'asthme de l'enfant sur la base des études individuelles retenues



Moisissures et asthme de l'enfant

Résultats des méta-analyses disponibles

Une méta-analyse [41] portant sur l'exposition aux moisissures à l'école et l'asthme a été identifiée. Elle était basée sur 11 études transversales, dont 5 portaient sur l'enfant. Aucun méta-risque lié à la prévalence de l'asthme n'était estimé chez l'enfant et une association non statistiquement significative était retrouvée entre des signes visibles de moisissures ou d'humidité et la prévalence des sifflements dans les douze derniers mois (OR : 1,88 [0,66-5,37]). Des méta-risques étaient néanmoins estimés en considérant conjointement l'adulte et l'enfant (OR : 1,68 [1,06-2,66] pour l'association avec les sifflements dans les douze derniers mois et 1,38 [0,72-1,83] pour l'association avec l'asthme actuel) mais une forte hétérogénéité des études incluses était observée. Ces relations C-R n'ont donc pas été retenues.

Par ailleurs, 4 méta-analyses portant sur l'exposition aux moisissures à domicile et incluant des enfants ont été identifiées [42, 43, 47, 111]. Toutes ces méta-analyses mettaient en évidence un excès de risque d'asthme lorsque des moisissures et/ou des traces d'humidité étaient visibles à domicile. Deux de ces méta-analyses [47, 111] ne permettaient pas de distinguer les résultats chez l'enfant et chez l'adulte. Par ailleurs, l'étude de Quansah *et al.* [47] s'intéressait au développement de l'asthme. Enfin, l'étude de Fisk *et al.* (2007) présentait les données expertisées dans le rapport de l'Institut de médecine de l'Académie des sciences américaine (IOM) en 2004 [43]. Trente-trois études (longitudinales ou transversales) étaient incluses dans cette méta-analyse, donnant un méta-risque de 1,53 [1,36 ; 1,68] pour les sifflements chez l'enfant et de 1,56 (95 % IC [1,30 ; 1,86]) pour l'asthme tous âges confondus. Enfin, l'étude d'Antova *et al.* (2008) reposait sur les données de 12 études transversales réalisées chez l'enfant de 6 à 12 ans dans le cadre du consortium PATY [42]. Ces études, menées en Russie, en Amérique du Nord et dans 10 pays de l'Europe de l'Est et de l'Ouest, ont permis de mettre en évidence des associations significatives entre les signes visibles de présence de moisissures dans le logement et la prévalence des sifflements dans les douze derniers mois (OR de 1,43 [1,36-1,49]) ainsi que d'asthme vie (OR de 1,36 [1,19-1,56]). Même en considérant uniquement les études pour lesquelles des expositions récentes ont pu être identifiées (N=7), ces associations étaient significatives (respectivement 1,46 [1,31-1,61] et 1,23 [1,07-1,41] pour les sifflements des douze derniers mois et l'asthme vie).

À noter que la recherche bibliographique a également permis d'identifier une méta-analyse [48] basée sur 8 cohortes européennes permettant de disposer d'une relation C-R entre l'exposition aux moisissures durant les premières années de vie et le risque de développer un asthme chez l'enfant. Néanmoins elle n'a pas été retenue car ne correspondait pas à la population d'étude.

Résultats des études individuelles

Aucun article individuel jugé pertinent n'a été identifié.

Tableau A3 : Description des études individuelles identifiées sur le lien entre l'exposition au NO₂ à l'école et la prévalence de l'asthme chez l'enfant

Publication	Description étude				Indicateurs environnementaux		Indicateurs sanitaires		OR # pour une augmentation d'un IQR * pour une augmentation de 10 µg/m ³
	Type d'étude, Pays	Période	Âge des enfants	N	Méthode d'estimation	Distribution	Indicateurs suivis	Prévalence	
Exposition estimée à partir de concentrations extérieures									
Dell et al. 2014 [106]	Étude cas-témoins, Canada	2006	5 à 9 ans	1 497	Estimation de l'exposition via modélisation basée sur adresses de l'école et du domicile	Moyenne (ET) = 10,9 (0,4) µg/m ³	Asthme diagnostiqué/asthme actuel (diagnostiqué + sifflements 12 derniers mois ou traitement pour asthme)/ Sifflements 12 derniers mois (questionnaire ISAAC modifié)	20,8 %/15,5%/21,4%	0,89 [0,72;1,10] / 0,96 [0,77;1,19]/1,03 [0,86;1,22] [#]
Fan et al. 2017 [101]	Étude transversale, Chine	2010	11-15 ans	1 877	Réalisation de mesures par prélèvement passif durant 1 semaine dans un lieu extérieur de l'école	Moyenne (ET) = 46,7 (3,3) µg/m ³	Asthme vie/asthme diagnostiqué/sifflement 12 derniers mois (questionnaire ECRHS)	1,1 %/1,1 %/4,4 %	0,71 (0,33–1,49) [*]
Hirsch et al. 1999 [110]	Étude transversale, Allemagne	1995-1996	9-11 ans	2 595	Estimation de l'exposition école + domicile via les données des stations de mesure les plus proches de ces lieux en considérant la distance	Moyenne (Min-Max) = 33,3 (17,1-56,0) µg/m ³	Sifflements dans les 12 derniers mois et asthme diagnostiqué par médecin (questionnaire ISAAC)	sifflements 12 derniers mois = 8,1% / asthme diagnostiqué = 7,9%	sifflements 12 derniers mois = 0,95 [0,72-1,26] / asthme diagnostiqué = 1,14 [0,86-1,51] [*]
Kim et al. 2004 [107]	Étude transversale, USA	2001	Âge scolaire (grade 3-5 des USA)	1 109	Réalisation de mesures extérieures dans la cour de l'école	Moyenne (Min - Max) = 11,3 (9,3-12,2) µg/m ³	Asthme dans les 12 derniers mois (questionnaire ISAAC)	14,00 %	1,02 (0,97 - 1,07) [#]
Kim et al. 2011 [102]	Étude transversale, Corée	2004	9-11 ans	1 915	Réalisation de mesures par prélèvement passif durant 1 semaine	Moyenne (ET) = 30,7 (9,8) µg/m ³	Asthme diagnostiqué/Asthme actuel (médicament ou crise dans les 12 derniers mois)/sifflements 12 derniers mois	5,3 %/6%/8,2%	1,06 (0,84-1,33)/0,99 (0,79-1,23)/1,27 (1,06-1,53) [*]

Mi et al. 2006 [103]	Étude transversale, Chine	2 000	Age école primaire	1 414	Réalisation de mesures par prélèvement passif durant 1 semaine dans la cour	Moyenne (ET) = 63 (13) µg/m ³	Asthme actuel/sifflements 12 derniers mois (questionnaire ECRHS)	3,1 %/3,1 %	1,44 [1,06–1,95]/1,00 [0,74–1,35]*
Penard-Morand et al. 2010 [108]	Étude transversale, France	1999-2000	9-11 ans	4 907	Estimation via un modèle de dispersion à l'adresse des écoles	Concentration moyenne = 30,5-56,6 µg/m ³ en fonction de la ville	Asthme 12 derniers mois / asthme vie (questionnaire ISAAC)	asthme 12 derniers mois = 5,3% / asthme vie = 9,8%	asthme 12 derniers mois = 1,37 [0,85-2,13] / asthme vie = 1,09 [0,85-1,39]#
Pikhart et al. 2000 [109]	Étude transversale, Multicentrique - Europe	1993-1994	7-10 ans	3 045	Estimation de l'exposition via modélisation basée sur mesures passives sur différents sites de prélèvements et adresses école et domicile	Médiane (IQR) = 35,8 (27,9-45,3) µg/m ³	Sifflements 12 derniers mois	11,70 %	1,10 [0,85-1,42]*
Zhao et al. 2008 [104]	Étude transversale, Chine	2004	11-15 ans	1 993	Réalisation de mesures par prélèvement passif durant 1 semaine dans un lieu extérieur de l'école	Moyenne (ET) = 52,3 (9.5) µg/m ³	Asthme vie/Sifflements 12 derniers mois (questionnaire ISAAC)	1,8 %/8,4 %	1,32 [0,55-3,14]/1,04 [0,77-1,39]*
Exposition estimée à partir de concentrations intérieures									
Fan et al. 2017 [101]	Étude transversale, Chine	2010	11-15 ans	1 877	Réalisation de mesures par prélèvement passif durant 1 semaine	Moyenne (ET) = 42,6 +/- 7,0 µg/m ³	Asthme vie/asthme diagnostiqué/sifflement 12 derniers mois (questionnaire ECRHS)	1,1 %/1,1 %/4,4 %	Sifflements 12 derniers mois : 0,93 (0,64–1,34)*
Kim et al. 2011 [102]	Étude transversale, Corée	2004	9-11 ans	1 028	Réalisation de mesures par prélèvement passif durant 1 semaine	Moyenne (ET) = 18,8 +/- 7,7 µg/m ³	Asthme diagnostiqué/Asthme actuel (médicament ou crise dans les 12 derniers mois)/sifflements 12 derniers mois	6,0 %/6,9%/8,0%	1,14 (0,82-1,61)/0,87 (0,62-1,23)/1,31 (0,98-1,75)*
Mi et al. 2006 [103]	Étude transversale, Chine	2 000	Age école primaire	1 414	Réalisation de mesures par prélèvement passif durant 1 semaine	Moyenne (ET) = 55 +/- 13 µg/m ³	Asthme actuel/sifflements 12 derniers mois (questionnaire ECRHS)	3,1 %/3,1 %	1,51 [1,17–1,96]/1,24 [0,96–1,60]*
Zhao et al. 2008 [104]	Étude transversale, Chine	2004	11-15 ans	1 993	Réalisation de mesures par prélèvement passif durant 1 semaine	Moyenne (ET) = 39,4 +/- 9,5 µg/m ³	Asthme vie/Sifflements 12 derniers mois (questionnaire ISAAC)	1,8 %/8,4 %	1,32 [0,55-3,14]/1,04 [0,77-1,39]*

OR = Odds-Ratios, IQR = écart interquartile, ET = Écart type

Annexe 4. Description des données sources identifiées pour renseigner les indicateurs de santé et d'exposition

Données de santé

Indicateurs sanitaires identifiés pour les effets à long terme

Les estimations de prévalence de l'asthme peuvent être obtenues via :

- les données recueillies par questionnaires dans le cadre d'enquêtes de cohortes (Elfe, Elfe-PMI, PARIS) ou d'enquêtes transversales (Enquêtes nationales de santé en milieu scolaire, Esteban) ;
- les données issues de bases de données médico-administratives (données de remboursement de soins par l'assurance maladie, données de la médecine scolaire).

Ces différentes sources de données sont présentées dans le tableau A4. Après examen de chacun des indicateurs de prévalence recensés, et au regard de la population visée et des relations C-R retenues, il a été décidé d'exclure quatre sources de données.

- Les données de santé recueillies par le biais de la médecine scolaire sont informatisées depuis 2017 dans une application commune à chaque académie. Elles pourraient permettre d'obtenir des informations intéressantes sur les prévalences de certaines pathologies, dont l'asthme, à une échelle infrarégionale. Néanmoins, un travail est nécessaire en amont afin de mieux connaître la qualité des informations recueillies, l'accessibilité et la pertinence de les exploiter au regard des autres sources de données disponibles ;
- Les données sur la santé respiratoire les plus récentes de la cohorte Elfe ont été recueillies en 2016-2017 chez les enfants alors âgés de 5-6 ans [112], et les données de l'enquête Elfe-PMI portent sur des enfants âgés de 3-4 ans. Ces âges ne sont pas conformes au critère d'âge fixé lors des choix des couples polluants-effets. Pour rappel, il a été décidé d'écarter les enfants âgés de moins de 6 ans en raison de la difficulté de poser le diagnostic d'asthme chez les jeunes enfants ;
- La cohorte Paris, cohorte de naissance parisienne [113], souffre d'un biais de recrutement important entraînant une surreprésentation des classes sociales supérieures sans redressement possible ;
- Les données de l'enquête Esteban (données sur la santé respiratoire non publiées) portent sur un trop faible effectif pour notre population d'intérêt (enfants scolarisés à l'école élémentaire).

Deux sources de données ont été retenues :

- Les enquêtes nationales de santé en milieu scolaire sont des enquêtes transversales de périodicité biennale pilotées par la Drees, conduites alternativement en classe de grande section de maternelle, CM2 et troisième. Elles portent sur de grands échantillons (près de 10 000 élèves en CM2 et troisième et près de 20 000 en grande section) et fournissent des indicateurs de santé applicables à l'échelle nationale (et régionale en grande section). Les dernières données disponibles pour les classes de CM2, correspondant aux âges visés dans notre étude, datent de 2014 et 2015 .
- Les données du SNDS-Sniiram sont exhaustives. Elles portent sur les remboursements de soins (dont les remboursements de médicaments) par l'assurance maladie. Chaque mois, les remboursements liquidés le mois précédent sont intégrés dans une base de données individuelles des bénéficiaires (DCIR). Pour un mois d'exécution des soins, les données sont quasiment exhaustives après un délai de quelques mois. Elles sont utilisables à un niveau géographique fin (du niveau national jusqu'à la commune de

résidence). Elles permettent notamment de repérer les personnes ayant bénéficié d'un remboursement de médicaments de la classe ATC R03 (médicaments pour les syndromes obstructifs des voies aériennes). Elles nécessitent néanmoins la construction d'un algorithme d'identification des personnes asthmatiques traitées.

Indicateurs sanitaires identifiés d'effets à court terme

Concernant les exacerbations d'asthme, deux sources de données ont été identifiées :

- Les données de recours aux urgences pour asthme issues du système de surveillance syndromique SurSaUD® (Système de Surveillance sanitaire des urgences et des décès) développés par Santé publique France depuis 2003 et qui permet de collecter automatiquement des données de morbidité grâce aux réseaux Oscour® (Organisation de la surveillance coordonnée des urgences) et aux associations SOS Médecins. Ces données sont disponibles en temps quasi réel (J+1) et sont applicables du niveau national ainsi qu'à la commune (code Insee), tout âge confondu;
- Les données sur les séjours hospitaliers pour asthme effectués dans les hôpitaux publics ou privés dans les secteurs de Médecine, Chirurgie, Obstétrique et Odontologie (MCO) qui sont issues du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). Ces données sont disponibles en juillet de l'année n pour l'année n-1. Elles sont applicables de l'échelle nationale jusqu'à la commune (ou regroupement de communes pour les petites communes).

Conclusion

Les indicateurs de santé retenus à ce stade sont donc :

- Pour les effets à long terme, les indicateurs retenus sont les estimations nationales de la prévalence de l'asthme ou des symptômes évocateurs d'asthme issues de l'enquête nationale de santé en milieu scolaire effectuée en 2014-2015 en classe de CM2. L'utilisation d'un proxy de la prévalence de l'asthme via la prévalence du traitement par médicaments de la classe ATC R03 estimée par les données issues du Sniiram peut néanmoins être envisagée pour une approche locale de l'année n-1;
- Pour les effets à court terme, sont retenus les passages aux urgences pour asthme issus du réseau OSCOUR de l'année n-1 et les hospitalisations pour asthme issus du PMSI de l'année n-2.

Données environnementales

Les principales caractéristiques des sources de données identifiées pour renseigner l'exposition en milieu scolaire sont présentées en tableau A5. Au regard des relations C-R sélectionnées, deux types d'indicateurs ont été distingués :

- Les indicateurs d'exposition liés à la qualité de l'air à l'intérieur des écoles, basés sur des mesures dans les salles de classe notamment ;
- Les indicateurs d'exposition liée à la qualité de l'air à proximité des écoles, basés sur des concentrations dans l'air ambiant.

Indicateurs d'exposition liés à la QAI des salles de classe

Les données sur l'exposition dans les salles de classe sont obtenues par des mesures des concentrations hebdomadaires de polluants dans les salles de classe.

- La surveillance de la qualité de l'air intérieur des établissements recevant du public (ERP) a été rendue obligatoire par la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010

Ainsi, depuis 2018, certaines collectivités ont fait le choix de campagnes de mesures, comprenant notamment la mesure du formaldéhyde, dans les salles de classe de leurs établissements scolaires. Ces mesures sont réalisées sur une période d'une semaine scolaire (5 jours) et répétées à deux saisons différentes, permettant ainsi d'intégrer une éventuelle variation saisonnière. Ces données ne sont pas représentatives au niveau national, les collectivités ayant la possibilité de choisir entre un autodiagnostic ou des mesures.

- **La Campagne nationale Écoles de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI)**

Cette campagne a été conduite entre 2013 et 2017 dans un échantillon d'écoles tiré au sort et représentatif de l'ensemble des écoles en France métropolitaine. Elle reposait sur des mesures hebdomadaires de polluants (formaldéhyde et NO₂ notamment) ainsi que sur la constatation par l'enquêteur de signes de moisissures ou d'humidité dans les salles de classe. Une détection de COV traceurs était également réalisée pour identifier les contaminations par des moisissures actives. Ces données présentent l'avantage d'être extrapolables à l'ensemble du parc des écoles françaises. Néanmoins, elles sont disponibles uniquement pour les écoles maternelles et élémentaires et ne permettent pas de disposer d'une information à une échelle infranationale.

- **Des campagnes spécifiques appliquées, notamment par les collectivités, au sein d'un ou plusieurs établissements scolaires de leur secteur**

Les caractéristiques des mesures réalisées sont variables d'une campagne à l'autre et il n'existe pas, à l'heure actuelle de base de données recensant l'ensemble des données collectées.

À noter que dans la plupart des études épidémiologiques, l'exposition aux moisissures repose sur une évaluation visuelle de signes de la présence de moisissures ou de signes d'humidité, ne permettant pas de détecter d'éventuelles moisissures cachées.

Indicateur d'exposition de la QA à proximité des écoles

Dans les études épidémiologiques concernant la répercussion des polluants issus du trafic routier sur l'asthme de l'enfant, l'évaluation de l'exposition repose généralement soit sur les concentrations de polluants dans l'air ambiant mesurées au niveau des stations fixes les plus proches soit sur une modélisation à l'adresse du domicile et/ou des écoles.

En France, ces données sont produites par les Associations agréées de la surveillance de la qualité de l'air (AASQA) à différentes échelles géographiques et temporelles pour le NO₂. L'approche basée sur la modélisation semble plus pertinente dans le cadre de notre étude pour pouvoir évaluer spécifiquement l'exposition des élèves.

Des campagnes spécifiques peuvent par ailleurs être menées par des collectivités à proximité des établissements scolaires.

Conclusion

Les indicateurs d'exposition retenus sont donc :

- Trois indicateurs d'exposition dans les salles de classe (formaldéhyde, NO₂ et moisissures), estimés par la moyenne nationale des concentrations hebdomadaires mesurées ou fréquences d'observation dans le cadre de la Campagne nationale Écoles de l'OQAI ;
- Un indicateur d'exposition au NO₂ à proximité des écoles estimé par la moyenne des concentrations modélisées à l'adresse des écoles.

Dans le cas d'une ÉQIS à une échelle locale, des données issues de campagnes spécifiques pourront également être utilisées.

Tableau A4 : présentation des sources de données recensées pour les indicateurs de santé et identification des forces et limites associées à chacune d'entre elles

Sources de données	Populations	Indicateurs de santé	Type et modalités de recueil	Méthodes de sélection de la population	Années de recueil	Échelle géographique	Disponibilité	Forces	Limites
Indicateurs sanitaires d'effets à long terme									
Enquêtes nationales de santé en milieu scolaire	Enfants de CM2 (N=7 928)	Prévalence de l'asthme vie, des symptômes d'asthme 12 derniers mois, de l'asthme actuel	Enquêtes transversales répétées Questionnaire administré aux élèves par l'infirmière ou le médecin de l'Éducation nationale Examen de santé	Sondage à deux degrés Tirage au sort d'établissements scolaires puis tirage au sort des élèves	2014-2015	Nationale	Oui	Questionnaire standardisé issu de l'enquête ISAAC	Échantillon Questionnaire sur la santé respiratoire déclaratif Pas d'estimation au niveau local Examen de santé ne comprenant pas l'asthme
	Médecine scolaire	Enfant de grande section de maternelle (6 ans)	PAI pour asthme Cas d'asthme par suivi médical obligatoire	Données de la médecine scolaire issues de l'examen médical obligatoire ou des examens effectués à la demande	Élèves ayant de l'asthme mentionné dans le dossier de la médecine scolaire	Tous les ans	Possible jusqu'à l'école	Oui	Application informatique Esculape, une base par académie
	Élèves du primaire	Cas d'asthme pour lesquels un PAI a été délivré	Recueil des PAI	Élèves ayant un PAI pour asthme	Tous les ans	Possible jusqu'à l'école	Oui	Exhaustivité des PAI délivrés	Variabilité inter-médecin pour délivrance d'un PAI
Elfe	Enfants de 5 ans nés en 2011, 1 enfant sur 50 à la naissance en 2011 =18 000 enfants)	Prévalence de l'asthme vie, des symptômes d'asthme Incidence de l'asthme	Cohorte de naissance Questionnaires standardisés auprès des parents Visite à domicile Échantillons biologiques	Tirage au sort de maternités et recrutement des enfants nés pendant 4 périodes de 6 jours en 2011	Questionnaires à différents âges de l'enfant	Régionale	Disponibilité probable en 2022	Questionnaire standardisé de l'enquête ISAAC Facteurs de confusion disponibles	Échantillon Questionnaires déclaratifs Pas d'estimation au niveau local Exclusion des grands prématurés

Elfe-PMI	Enfants de 3-4 ans en maternelle (N=10 000 dont 400 enfants Elfe)	PAI pour asthme	Étude longitudinale pour les enfants Elfe et transversale pour les autres Bilan de santé par questionnaire	Services de PMI départementaux métropolitains volontaires, enfants nés pendant 7 périodes de 2011	2015-2016	Départementale	Oui	Questionnaire par un professionnel de santé Quelques facteurs de confusion disponibles	Pas d'estimation au niveau local Échantillon Départements volontaires Variabilité inter-médecin pour délivrance d'un PAI
Paris	Enfants nés à Paris entre 2003 et 2006 (N=3 840) de 8 ans (N=1 050)	Prévalence Incidence	Cohorte de naissance Bilan clinico-biologique à l'hôpital Autoquestionnaires	Tirage au sort enfants nés dans 5 hôpitaux parisiens entre 2003-2006	2011-2014	Paris et petite couronne	Oui	Bilan réalisé à l'hôpital	Biais de recrutement : surreprésentation des PCS + (redressement impossible car effectifs insuffisants PCS -)
Esteban	Enfants de 6 à 17 ans (N=895)	Prévalence de l'asthme vie, des symptômes d'asthmes 12 derniers mois, de l'asthme actuel	Étude transversale Examen de santé par IDE Auto-questionnaire renseigné par les parents des enfants âgés de 6-14 ans, et par les adolescents de 15-17 ans	Sondage à 3 degrés	2014-2016	National	Oui	Questionnaire standardisé issu de l'enquête ISAAC	Échantillon Examen de santé ne concerne pas l'asthme Faibles effectifs
SNDS-Sniiram (DCIR)	Enfants	Prévalence du traitement par des médicaments de la classe ATC R03 (maladies obstructives des voies respiratoires) Incidence (nouveaux cas) du traitement par des médicaments R03 = Proxys de la prévalence et de l'incidence de l'asthme persistant	Entrepôt de données de remboursement de soins	Enfants ayant eu un nombre de remboursements de médicaments prescrits dans le traitement de l'asthme au cours d'une période de temps donnée supérieure à un seuil	Année n-1 disponible (données remontées tous les mois, décalage de 4 mois pour complétude)	Commune de résidence Point d'attention sur les croisements car risque d'identification	Oui	Exhaustivité des remboursements Critères de définition des cas déjà identifiés (Host <i>et al.</i> , 2018) Données récentes Commune de résidence	Selon les effectifs, on ne peut pas forcément descendre au niveau géographique le plus fin Proxy de l'asthme persistant traité qui dépend des pratiques diagnostiques et thérapeutiques des médecins et de la compliance au traitement des patients ; Ne prend pas en compte les asthmes intermittents (traitement uniquement en cas de symptômes respiratoires) et les asthmes non diagnostiqués/non traités

Indicateurs d'effets à court terme								
SNDS-PMSI	Enfants	<p>Nombre d'hospitalisations pour asthme</p> <p>Taux d'hospitalisation (pour 10 000 enfants)</p>	<p>Séjours dans un établissement de santé, public ou privé</p>	<p>Séjours pour asthme [séjours codés (CIM10) J45 (asthme) ou J46 (asthme aigu grave) en diagnostic principal</p> <p>Séjours pour insuffisance respiratoire aiguë associée à un asthme [séjours codés J960 (insuffisance respiratoire aiguë) en diagnostic principal et comportant un code d'asthme (J45 ou J46) en diagnostic associé</p>	<p>Année n-1 complète en juillet de l'année n</p>	<p>Niveau code géographique PMSI (=regroupement de commune, ressemble au code postal)</p> <p>Point d'attention sur les croisements car risque d'identification</p>	Oui	<p>Exhaustivité des séjours</p> <p>Définition de l'indicateur existante</p> <p>Données récentes</p> <p>Niveau géographique fin</p> <p>Codes des diagnostics</p> <p>Selon les effectifs, on ne peut pas forcément descendre au niveau le plus fin</p>
Sursaud Oscour (PAU) et SOS Médecins	Enfants	<p>Oscour Recours aux urgences pour asthme= nombre de passages ou proportion pour 1 000 passages aux urgences</p> <p>Indicateur de gravité : proportion d'hospitalisation suite à un passage aux urgences</p> <p>SOS Médecins Nombre de consultations pour asthme</p>	<p>Extractions automatisées des données des services d'urgence et des consultations SOS Médecins</p>	<p>Oscour Regroupements syndromiques disponibles (basés sur les codes CIM-10 des diagnostics ou des symptômes)</p> <p>SOS Médecins Thésaurus propres mais transcodages disponibles pour l'asthme</p>	<p>Année en cours et précédentes (remontée tous les jours avec consolidation jusqu'à J+7 pour OSCOUR et J+3 SOS Médecins)</p>	<p>Jusqu'à la commune</p> <p>Point d'attention sur les croisements car risque d'identification</p>	<p>Oui si les agrégations préalablement définies sont concordantes avec le projet (ex : classe d'âge)</p>	<p>OSCOUR Quasi-exhaustivité (93,3 %) des passages Taux de codage des diagnostics = 81% Regroupements syndromiques définit</p> <p>SOS Médecins Exhaustivité sur les codes des diagnostics Code postal de résidence et de consultation</p> <p>Possibilité de définir un proximi = ratio d'incidence</p> <p>Variabilité de participation des services selon les régions</p> <p>Nombre de passages pour asthme (et non nombre de patients) : pas de chaînage possible des passages d'un même patient</p>

Tableau A5 : Description des données sources identifiées pour renseigner les indicateurs d'exposition à la pollution de l'air à l'école*

Sources de données	Type d'établissements	Indicateurs	Type et modalités de recueil	Méthodes	Années de recueil	Échelle géographique	Disponibilité	Forces	Limites
Données de surveillance réglementaire de la QAI des ERP (Ineris/DGPR)	Établissements d'enseignements (écoles, collèges, lycées) et centres de loisirs	Concentration hebdomadaire en formaldéhyde dans les salles de classe (Autres polluants mesurés : benzène, CO ₂ + tétrachloroéthylène pour certains établissements)	Réalisation volontaire de mesures dans le cadre de la surveillance réglementaire (N=5 778 établissements). Mesures intérieures et extérieures dans différentes pièces des écoles (classes, dortoirs, cantine, etc.)	Mesures sur 4.5 jours en présence des enfants. 2 séries de mesures espacées de 6 à 9 mois (été/hiver) À refaire au bout de 2 ans si dépassement sinon 7 ans plus tard	Données à partir de 2016-2017	Possible jusqu'au niveau de l'établissement	Oui	2 saisons couvertes	Pas de représentativité au niveau national. Mesures réalisées principalement dans des écoles de grandes agglomérations Pas un unique laboratoire (tous les laboratoires impliqués accrédités COFRAC sur le référentiel LAB REF 30) Pas de données disponibles sur les caractéristiques de l'école
Données issues de la Campagne nationale Écoles (OQAI/CSTB)	Écoles maternelles et élémentaires (N=301 écoles)	Concentration hebdomadaire en formaldéhyde, NO ₂ dans les salles de classe + proportion d'écoles présentant des signes d'humidité dans au moins une salle de classe (autres polluants mesurés : 64 polluants recherchés dans l'air)	Campagne de mesures avec tirage au sort (N=301 écoles). Mesure dans 2 salles de classe par école	Mesures du lundi au vendredi en présence des enfants. Une seule mesure, répartition sur 19 semaines dans l'année pendant 4 ans	Juin 2013 à juin 2017	Nationale	Oui	Tirage au sort permettant estimation au niveau national Laboratoire unique d'analyse pour un même polluant	Pas de variabilité temporelle ou géographique Pas de connaissance sur nombre d'enfants exposés
Données issues de la surveillance de la qualité de l'air ambiant (AASQA)	NA	Concentration journalière et/ou hebdomadaire en NO ₂ à l'adresse des écoles (autres polluants réglementés : ozone, particules)	Données de la surveillance réglementaire Mesures via stations + modélisation	Analyseurs en continu pour le NO ₂		Possible jusqu'à l'adresse de l'école	Oui	Disponibilité dans le temps et dans l'espace	Concentrations estimées à l'adresse de l'école et non dans la cour. Pas de données en intérieur

* Les campagnes de mesure mises en œuvre spécifiquement à un niveau local n'ont pas été recensées dans le cadre de ce travail

Annexe 5. Scénarios pour les calculs d'ÉQIS pour le formaldéhyde et les moisissures : modalités de calcul, valeurs seuil utilisées et concentrations moyennes recalculées

Scénario	FORMALDÉHYDE			MOISSURES		
	Modalités de calcul	Valeur seuil utilisée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration moyenne +/- ETM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Modalités de calcul	Valeur seuil utilisée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Présence de moisissures visibles (%)
Estimation nationale pour les écoles élémentaires (CNE)			20,0 +/- 0,9			4
Scénario 2 « respect de la valeur réglementaire »	La valeur réglementaire de la concentration en formaldéhyde dans les ERP est affectée aux écoles ayant une concentration supérieure à cette valeur. Les concentrations des autres écoles restent inchangées (écoles ayant des concentrations inférieures à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	30	18,8 +/- 0,7	Non calculé car il n'existe pas de valeur réglementaire pour les moisissures.	NA	NA
Scénario 3 « bon renouvellement d'air »	La valeur moyenne des concentrations de formaldéhyde des écoles ayant un indice de confinement de l'air strictement < à 3 est affectée aux écoles ayant un indice de confinement de l'air \geq 3. Les concentrations des autres écoles restent inchangées (écoles ayant un indice ICONE <3).	16,6	16,2 +/- 0,2	Il est considéré que les écoles ayant un indice de confinement de l'air \geq 3 présentent le même pourcentage de moisissures que celui observé au sein des écoles ayant un indice de confinement de l'air < à 3.	0	0

ETM = erreur type de la moyenne

NA = Non applicable

Annexe 6. Caractéristiques des écoles en fonction de l'indice ICONE (échantillon non redressé)

(A) Variables quantitatives

Caractéristiques	Écoles avec ICONE ≤2			Écoles avec ICONE >2		
	Salles de classe	de	Moyenne +/- ET	Salles de classe	de	Moyenne +/- ET
	N	%		N	%	
Concentration en limonène (µg/m³)*	78	28 %	5,5+/-6,5	201	72%	10,1+/-8,6
Surface vitrée (m²)	79	28 %	9,2+/-4,6	201	72%	8,9+/-3,8
Ratio surface vitrée / surface murs (%)	79	28%	0,1+/-0,1	201	72%	0,1+/-0,1
Température moyenne en occupation (°C)*	77	27 %	24,4+/-1,9	204	73%	23,2+/-1,3
Humidité relative moyenne en occupation (%)	77	27%	0,4+/-0,1	204	73%	0,5+/-0,1
Taux de renouvellement de l'air (vol/heure)*	78	28 %	1,3+/-0,8	198	72%	0,6+/-0,4
Nb meubles en bois massif	80	28 %	4,9+/-10,1	208	72%	5,5+/-10,6
Nb meubles en bois reconstitué	80	28 %	53,8+/-15,7	208	72%	51,5+/-18,5
Nb meubles en bois mixte	80	28 %	1,9+/-9,3	208	72%	1,05+/-5,5
Nb meubles en plastique	80	28 %	2,9+/-4,8	208	72%	2,6+/-5,1
Densité de mobilier en bois massif (nb meubles/volume)	78	28 %	0,03+/-0,1	198	72%	0,04+/-0,1
Densité de mobilier en bois reconstitué (nb meubles/volume)	78	28 %	0,3+/-0,1	198	72%	0,3+/-0,1
Densité de mobilier en bois mixte (nb meubles/volume)	78	28 %	0,01+/-0,1	198	72%	0,01+/-0,03
Densité de mobilier en plastique (nb meubles/volume)	78	28 %	0,02+/-0,02	198	72%	0,02+/-0,03

* $p < 0.05$; ET : écart-type

(B) Variables qualitatives

Caractéristiques		Écoles avec ICONE ≤2		Écoles avec ICONE >2	
Variable	Modalités	Nombre de salles de classe	% salles de classe	Nombre de salles de classe	% salles de classe
Zone climatique**	H1	48	60 %	119	57 %
	H2	17	21 %	77	37 %
	H3	15	19 %	12	6 %
Période de construction*	Avant 1948	37	48 %	64	32%
	Entre 1949 et 1967	6	8%	44	22%
	Entre 1968 et 1981	14	18%	40	20%
	Entre 1982 et 2002	12	16%	32	16%
	2003 et après	8	10 %	19	10 %
Trafic	Modéré ou faible	58	73 %	141	68 %
	Fort	22	28 %	67	32 %
Saison*	Chauffe	42	53 %	176	85 %
	Hors-chauffe	38	48 %	32	15 %
Présence de système de ventilation	Non	63	79 %	169	82 %
	Oui	17	21 %	37	18 %
Présence de signe d'humidité	Non	69	86 %	173	84 %
	Oui	11	14 %	33	16 %
Revêtement du sol	Sol carrelé	17	21 %	51	25 %
	Sol plastique, PVC, linoléum	53	66 %	129	62 %
	Sol autre	10	13 %	28	13 %
Revêtement du plafond	Faux plafond	36	45 %	92	44 %
	Faux plafond acoustique	18	23 %	55	26 %
	Peinture/papier peint/vinyle/toile de verre	22	28 %	55	26 %
	Plafond autre	4	5 %	6	3 %
Présence d'imprimante*	Non	54	68 %	170	83 %
	Oui	26	33 %	36	17 %
Présence de TV	Non	72	90 %	192	93 %
	Oui	8	10 %	14	7 %
Fréquence du nettoyage humide du sol	Jamais ou ≤1 fois par semaine	35	47 %	75	38 %
	>1 fois par semaine	40	53 %	120	62 %
Fréquence du nettoyage sec du sol	Jamais	7	9 %	16	8 %
	<1 fois par jour	11	15 %	42	22 %
	≥1 fois par jour	57	76 %	137	70 %
Fréquence du nettoyage sec du mobilier	Jamais	22	29 %	67	34 %
	≤1 fois par semaine	22	29 %	66	34 %
	>1 fois par semaine	31	41 %	62	32 %
Fréquence de nettoyage des vitres	Jamais	5	7 %	9	5 %
	1 à 5 fois par an	35	49 %	121	64 %
	>5 fois par an	32	44 %	58	31 %

*p<0.05

les zones climatiques ont été déterminées en fonction des zones climatiques d'hiver et d'été définies par la réglementation thermique (RT 2005).