



# Évaluation des niveaux de polluants émis par les moteurs diesel lors du transport des écoliers en autobus scolaire

*Résumé*  
*Décembre 2005*



# Évaluation des niveaux de polluants émis par les moteurs diesel lors du transport des écoliers en autobus scolaire

*Résumé*  
*Décembre 2005*

Ce rapport est préparé en collaboration avec :

L'Association pulmonaire du Nouveau-Brunswick

Environnement Canada

Ministère de l'Éducation du Nouveau-Brunswick

Environment and Human Health, Inc.

Conseil de la recherche est de la productivité

Notre mission est d'aider les Canadiens et les Canadiennes  
à maintenir et à améliorer leur état de santé.

*Santé Canada*

Publication autorisée par le  
ministre de la Santé

Also available in English under the title:  
*Evaluation of the Levels of Diesel-related Pollutants on  
School Buses During the Transportation of Children  
Executive Summary  
December 2005*

La présente publication est également disponible sur demande sur disquette,  
en gros caractères, sur bande sonore ou en braille.

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, représentée par le ministre de Santé Canada, 2006  
SC Pub. : 4123  
Cat. : H128-1/06-455F  
ISBN : 0-662-71175-0

## ***Remerciements***

Projet réalisé par l'Association pulmonaire du Nouveau-Brunswick, Santé Canada, Environnement Canada et Environment and Human Health Inc. (EHHI), avec l'appui du ministère de l'Éducation du Nouveau-Brunswick et du personnel et des élèves des districts scolaires du Nouveau-Brunswick.

## ***Table des matières***

Introduction .....	5
Méthodologie .....	6
Principaux résultats .....	7
Limites et incertitudes .....	9
Recommandations .....	10
Études à envisager .....	11

# Introduction

Les gaz d'échappement des moteurs diesel représentent un mélange complexe de particules, de vapeurs et de gaz. La fraction gazeuse des émissions contient du monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), des oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), du dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et des composés organiques volatils (COV). Parmi les COV présents, on retrouve des hydrocarbures non méthaniques, des composés carbonylés comme les aldéhydes ainsi que des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). La fraction particulaire des émissions diesel comprend quant à elle des matières carbonées, habituellement constituées de 75 % de carbone élémentaire (suie) et de 20 % de carbone organique. La proportion des substances présentes varie toutefois grandement selon le type de moteur et le système d'échappement. Une petite fraction de la masse de matières particulaires (MP) est formée de composés minéraux comme le sulfate, de l'eau complexée au sulfate et de divers microconstituants (oxydes métalliques) provenant du carburant diesel et du matériau du moteur.

Plusieurs agences gouvernementales et scientifiques ont établi que les émissions des moteurs diesel s'avèrent des cancérogènes probables pour les humains. Des études récentes ont aussi révélé un lien entre des maladies pulmonaires comme l'asthme et l'exposition aux émissions de moteurs diesel. Certains indices donnent à penser que les enfants sont particulièrement vulnérables à ces effets. Dans ce contexte, les trajets en autobus scolaire ont été identifiés comme étant une source potentielle d'exposition significative aux émissions de moteur diesel. Aux États-Unis, plusieurs études mesurant les niveaux de polluants dans les autobus scolaires ont démontré de grandes variations entre les autobus. Elles ont aussi révélé que les concentrations les plus fortes se retrouvaient dans les autobus munis de moteurs diesel conventionnels. Toutefois, la plupart des études ont été réalisées sur un nombre restreint d'autobus; de plus, les niveaux de polluants ont été mesurés dans des

autobus vides. Au Canada, il existe peu de données sur les caractéristiques de l'exposition des élèves dans des conditions normales d'utilisation.

L'Association pulmonaire du Nouveau-Brunswick, le ministère de l'Éducation du Nouveau-Brunswick et ses écoles, Santé Canada, Environnement Canada et Environment and Human Health Inc. ont cherché à préciser les niveaux d'exposition des enfants du Nouveau-Brunswick aux gaz d'échappement des moteurs diesel lors des trajets en autobus scolaire. Les caractéristiques géographiques et démographiques des communautés du Nouveau-Brunswick font en sorte qu'un grand nombre d'élèves doivent utiliser l'autobus pour se rendre à l'école. Environ 95 000 élèves, soit 77 % des élèves inscrits, utilisent le transport scolaire.

La présente étude avait pour objectif de mesurer les niveaux réels de polluants provenant des gaz d'échappement dans les autobus scolaires du Nouveau-Brunswick lors de trajets effectués sur une base quotidienne, en considérant l'âge de l'autobus, la longueur du trajet, la région de l'école, le système d'injection du moteur de l'autobus, les variables météorologiques (température et humidité) et les niveaux de MP<sub>2,5</sub> dans l'air ambiant. Le but ultime était l'élaboration de recommandations visant à réduire l'exposition des élèves aux gaz d'échappement des moteurs diesel des autobus scolaires.

Aux fins du présent rapport, le mot « exposition » est défini comme la mesure de polluants dans des autobus avec des enfants à bord. Dans ce contexte, ce terme doit être considéré dans son sens plus général, et ne sert pas à désigner l'exposition d'un seul enfant dans un seul autobus.

## Méthodologie

L'étude a été réalisée dans deux districts scolaires de la province du Nouveau-Brunswick, Canada; elle impliquait des enfants de la maternelle à la cinquième année âgés de 5 à 11 ans. Les échantillons d'air analysés ont été prélevés pendant 63 jours d'école, entre le 24 avril et le 19 juin 2003. L'âge moyen des 41 autobus impliqués dans l'étude était de 6,6 ans (écart-type = 4,4 ans); la plupart de ces véhicules ont fait l'objet de tests d'opacité<sup>1</sup> des gaz d'échappement et tous respectaient les normes en vigueur. Tous les autobus utilisés pour l'étude fonctionnaient au carburant diesel, les teneurs mesurées en soufre étant de 436 ppm en mars, de 427 ppm en avril et de 433 ppm en mai.

Les techniciens chargés des prélèvements d'air ont transporté les appareils de mesure et accompagné les élèves toute la journée, notamment lors des trajets vers l'école, qu'ils soient effectués à pied ou en autobus. Par ailleurs, même si des mesures ont été réalisées pendant toute la journée, seules les valeurs d'exposition mesurées pendant les déplacements ont fait l'objet d'analyse. Les autobus et les jours de prélèvement ont été sélectionnés au hasard et un nombre suffisamment élevé de trajets ont été testés pour que les résultats soient représentatifs des conditions réelles. Un trajet d'autobus différent pour 63 jours d'école typiques d'un enfant a fait l'objet d'évaluation; on a ainsi complété 63 jours de prélèvement. Des mesures d'exposition ont également été effectuées pour 11 jours de trajets à pied. Les techniciens chargés du prélèvement d'air ont pris note de tous les éléments susceptibles d'influencer l'exposition.

Les matières particulaires d'un diamètre aérodynamique de moins de 2,5 µm (MP<sub>2,5</sub>) ont été mesurées au moyen d'un Dust Trak (MD) (MP<sub>0,1-2,5</sub> µm) et celles d'un diamètre de moins de 1,0 µm (MP<sub>1,0</sub>) au moyen d'un P-Trak (MD) (MP<sub>0,02-1,0</sub> µm). Les concentrations de suie noire (SN) et de composés organiques aromatiques à absorbance UV ont été mesurées au moyen d'un Aethalometer<sup>MC</sup> portatif totalement automatisé. Les échantillons d'air pour la mesure des composés organiques volatils (COV) ont été prélevés à l'aide de cylindres SUMMA; ils ont été analysés par chromatographie en phase gazeuse en pré-concentration à basse température et à haute résolution de même que par détection sélective de masse (GC/MSD) quadripolaire. Les échantillons d'air étaient habituellement prélevés dans la zone d'air respirable des enfants. Les données météorologiques utilisées, soit la température (mesurée à chaque heure), l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent et la nébulosité proviennent de la station d'Environnement Canada située à l'aéroport de Fredericton. Les données sur la qualité de l'air ambiant, soit sur les concentrations de MP<sub>2,5</sub>, de NO<sub>x</sub>, d'ozone (O<sub>3</sub>) et de monoxyde de carbone (CO) ont été obtenues auprès d'Environnement Canada et proviennent d'un site fixe d'échantillonnage situé à Fredericton.

L'étude a été approuvée par le Comité de déontologie de l'Université du Nouveau-Brunswick.

---

1. L'essai d'opacité d'échappement est une mesure de la quantité de lumière qui est bloquée par les concentrations de particules émises par les moteurs diesel. La mesure d'opacité augmente lorsque les émanations d'échappement deviennent plus foncées.

## Principaux résultats

L'étude a révélé qu'un trajet typique avait une durée moyenne de 26 minutes (intervalle de confiance au niveau de 95 % [IC 95%] : 24-29), pour un total de près d'une heure pour une journée d'école normale.

Pendant la période à l'étude, la température moyenne était de 12°C et l'humidité relative moyenne de 60 %; ces valeurs ont été utilisées pour transformer les valeurs continues de température et d'humidité en valeurs booléennes. Le niveau moyen de  $MP_{2,5}$  dans l'air ambiant durant les périodes de déplacement était de  $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour toute la période. Le niveau moyen de  $MP_{2,5}$  mesuré dans les autobus était de  $32,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (IC 95 % : 28,2-36,5) et le niveau d'exposition lors de trajets à pied de  $9,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (IC 95 % : 7,4-12,7). Les concentrations d'autres polluants de l'air dans l'autobus étaient de  $10\,786$  particules/ $\text{m}^3$  (IC 95 % : 8 521-13 656) pour les  $MP_{1,0}$ , de  $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (IC 95 % : 0,5-0,9) pour la SN et de  $775 \text{ ng}/\text{m}^3$  (IC 95 % : 593-1 019) pour les composés organiques aromatiques à absorbance UV. Les niveaux d'exposition lors de trajets effectués à pied équivalaient à près du tiers de ceux mesurés en autobus. Toutefois, la comparaison entre l'exposition aux polluants en autobus et l'exposition lors de trajets à pied doit être réalisée avec prudence puisque ces mesures ont été faites à des moments différents, pour des durées différentes et pour des trajets différents.

Les résultats obtenus indiquent que les niveaux de  $MP_{2,5}$  mesurés lors des trajets en autobus et à pied dépassaient les niveaux mesurés dans l'air ambiant. Les niveaux de  $MP_{2,5}$  dans l'air ambiant sont des moyennes horaires, ce qui correspond au temps moyen de déplacement qui a été estimé ici. Précisons ici que les mesures dans l'air ambiant ont été recueillies à un seul site à Fredericton, de sorte que ces valeurs ne correspondent peut-être pas aux niveaux individuels d'exposition.

Il appert par ailleurs que l'âge des autobus (< 6 ans ou  $\geq 6$  ans) et la température ambiante (< 12°C ou  $\geq 12^\circ\text{C}$ ) n'ont pas d'influence significative sur les concentrations de polluants à l'intérieur des véhicules, même si les concentrations en polluants semblent avoir été plus élevées lors des journées froides.

Nous avons réalisé l'analyse de l'impact de différents facteurs (climat, âge de l'autobus, durée du déplacement, niveau de concentration des particules dans l'air) sur les niveaux de polluants dans l'air des autobus et lors des trajets à pied au moyen d'analyses de régression linéaire multivariée. Nous avons classé ces facteurs selon leur importance; les facteurs associés aux niveaux de pollution mesurés dans les autobus et lors des trajets effectués à pied correspondaient à la concentration de  $MP_{2,5}$  dans l'air ambiant, l'humidité, la température et la durée du déplacement en autobus (non classés par ordre d'importance). Les autres facteurs qui peuvent aussi faire varier l'exposition pendant les trajets sont le nombre d'arrêts effectués par l'autobus, la circulation automobile autour de l'autobus, la configuration des fenêtres (l'ouverture des fenêtres tend à augmenter les niveaux lors des trajets courts et à les diminuer lors de longs trajets) et, dans une moindre mesure, les caractéristiques mécaniques de l'autobus. Ces facteurs n'ont pu être analysés dans le cadre du présent projet; ils devraient faire l'objet d'étude subséquente, car, contrairement à la qualité de l'air ambiant, à l'humidité et à la température, il est possible de régler le nombre d'arrêts, les arrêts effectués en zones à circulation élevée et de contrôler l'ouverture ou la fermeture des fenêtres.

Dans la présente étude, il était rare que les autobus utilisent le régime de moteur au ralenti (c'est-à-dire un moteur qui demeure en marche lorsque l'autobus est arrêté), un facteur jugé important pour l'accroissement de l'exposition aux émissions; il a donc été impossible d'évaluer l'influence de cette pratique sur les niveaux d'exposition. On doit aussi noter que les autobus

étaient bien entretenus et qu'ils répondaient aux normes en matière d'opacité des gaz d'échappement. Bien que les analyses statistiques aient été réalisées au moyen de modèles à une variable, les données ont été classées en diverses catégories selon les conditions météorologiques et l'âge des autobus, afin de vérifier la présence de facteurs confondants.

La majorité des COV évalués étaient supérieurs à la limite de détection. Parmi les COV mesurés, le benzène s'avère particulièrement préoccupant compte tenu qu'il s'agit d'une substance reconnue cancérigène. Les résultats indiquent que les niveaux moyens de benzène mesurés dans les autobus correspondaient aux niveaux moyens mesurés dans les centres urbains entre 1989 et 1998 (de 1,8 à 3,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Le niveau d'exposition est donc similaire à celui des piétons en milieu urbain.

De façon systématique, certains trajets et autobus présentaient des niveaux d'exposition constamment faibles ou, au contraire, constamment élevés. L'explication de tels résultats n'a pu être fournie; à ce chapitre, la taille de l'échantillon est trop faible pour tirer quelque conclusion que ce soit. Il est possible que la température du moteur, le niveau de chargement, la température de l'air ambiant et la densité de la circulation locale aient contribué à cette variabilité. Cette observation suggère qu'il serait possible de réduire l'exposition pendant les déplacements en changeant les conditions de circulation des autobus et les trajets. Des études subséquentes tenteront de déterminer quels changements dans la gestion seraient les plus efficaces.

Même si les spécifications techniques des moteurs n'ont pas démontré d'influence significative sur les niveaux d'exposition, il semble que les moteurs munis de système d'injection à contrôle électronique sont généralement plus propres quant aux  $\text{MP}_{2,5}$ , à la SN et aux substances organiques aromatiques à absorbance UV que ceux munis de système d'injection à contrôle mécanique. Les résultats d'exposition cumulative montrent un niveau de  $\text{MP}_{2,5}$  significativement plus élevé pour les systèmes d'injection à contrôle mécanique que pour les systèmes d'injection à contrôle électronique, quand le taux d'humidité est inférieur à 70 %.

Cette étude est l'une des plus complètes jamais réalisées sur l'exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel lors de déplacements en autobus scolaire. Les données obtenues permettent l'analyse des relations entre les émissions des autobus et l'exposition des enfants à une gamme étendue de composés chimiques. Dans l'ensemble, l'étude montre que les niveaux d'exposition des enfants aux polluants atmosphériques dans les autobus scolaires sont plus faibles que ceux mesurés dans le cadre d'autres études, comme celles réalisées à Los Angeles et dans 15 villes du Connecticut. L'autobus scolaire demeure cependant un bon moyen de transport parce qu'il est sécuritaire; il permet aussi une réduction du nombre de véhicules sur les routes et, par là, une diminution générale de la pollution atmosphérique.

## ***Limites et incertitudes***

Plusieurs incertitudes limitent la portée de cette étude, et il importe de les reconnaître si l'on désire interpréter correctement les résultats obtenus.

Dans un premier temps, tel que mentionné précédemment, les mesures d'exposition en autobus et lors des déplacements à pied n'ont pas été réalisées en même temps, pendant une période de même durée ou pour des trajets identiques. Un biais peut donc survenir lors de la comparaison des niveaux d'exposition aux polluants atmosphériques dans les autobus et lors des déplacements à pied et il se peut que les résultats soient mal interprétés. Aucune conclusion définitive ne devrait être tirée d'une telle comparaison.

Il faut par ailleurs souligner que les données sur la pollution atmosphérique ont été recueillies à partir d'un seul site (en l'occurrence le site de Fredericton) et ne correspondent pas nécessairement aux niveaux d'exposition existants au moment des déplacements. La comparaison entre le niveau de pollution atmosphérique et les niveaux d'exposition lors de déplacements en autobus ou à pied risque d'entraîner une classification erronée de l'exposition; dans ce contexte, ces résultats devraient être interprétés avec prudence.

Plusieurs facteurs comme les conditions météorologiques, le type et l'état du véhicule, la fréquence d'utilisation du régime de moteur au ralenti, le fait que les fenêtres soient ouvertes ou fermées, le nombre de fois qu'on ouvre les portes et la densité de la circulation sont également susceptibles d'influer sur les niveaux d'exposition dans un autobus. Certains d'entre eux peuvent constituer des facteurs confondants. Nos analyses statistiques sont surtout des analyses unidimensionnelles qui n'ont pas pris en compte tous les facteurs confondants. Nous avons toutefois cherché à contrôler ces facteurs en classant les données en catégories selon les conditions météorologiques, l'âge des autobus et la longueur

des trajets. De plus, une régression linéaire multivariée a été réalisée afin de déterminer le rôle de ces facteurs sur la pollution à l'intérieur des autobus.

Bien que l'on ait assumé que les niveaux d'exposition dans un autobus scolaire sont en grande partie attribuables aux émissions provenant des moteurs des autobus, aucune de ces mesures d'exposition (à l'exception peut-être de la mesure de la suie noire (SN), n'est considérée comme étant représentative, en raison de l'existence d'une multitude d'autres sources d'émission de ces polluants. En fait, même la SN peut provenir d'autres sources que les gaz d'échappement des moteurs diesel. Plusieurs variables pouvant affecter les niveaux d'exposition à l'intérieur d'un autobus scolaire (la saison, l'auto-pollution, la densité et le type de circulation autour de l'autobus, les niveaux de pollution le long des routes) n'ont pas été analysées, parce que les données nécessaires n'étaient pas disponibles ou qu'elles n'ont pas été recueillies. Rappelons que cette étude porte davantage sur l'exposition des passagers d'autobus que sur l'exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel.

Il est aussi important de souligner que les déplacements en après-midi ne se faisaient pas tous à la même heure; l'heure de la collecte des élèves allait de 12 h à 15 h et, certain jours, les mêmes autobus transportaient des élèves à 12 h, 14 h et/ou 15 h. Il est donc possible que des contaminants provenant de trajets précédents aient été présents à l'intérieur d'un autobus, lors de trajets subséquents. L'impact de la pollution causée par la circulation autour de l'autobus devrait par ailleurs être moins important à l'heure du midi qu'en après-midi, après le début de l'heure de pointe.

La présente étude a utilisé un échantillon composé d'un grand nombre d'autobus et mesuré l'exposition de plusieurs d'enfants pendant plusieurs jours. En raison des conditions réalistes qui ont prévalu lors de la recherche, le niveau de pollution à l'intérieur des autobus a varié de façon marquée.

Le fait que chacune des catégories utilisées pour les comparaisons inclue un échantillon de taille différente (c.-à-d. un nombre différent d'autobus dans chaque groupe) peut introduire des incertitudes dans l'analyse lorsque la taille de l'échantillon est trop petite (ainsi, on a effectué seulement quatre (4) mesures des concentrations de PM<sub>2,5</sub> lors des trajets à pied par temps froid).

Même si des mesures parallèles ont été effectuées pendant plusieurs jours, la variabilité entre les duplicata d'échantillonnage n'a pas été évaluée, ce qui pourrait limiter notre capacité à déterminer à quel point les différences de mesure d'exposition sont attribuables à la variation des appareils de mesure.

Finalement, bien que les participants à l'étude aient été choisis au hasard, l'étude s'est basée sur les résultats des enfants effectuant les trajets les plus représentatifs. Les écoles ont fourni les noms des enfants aux chercheurs et il se peut donc que le processus de sélection des enfants ait été biaisé.

## ***Recommandations***

1. On devrait éliminer le recours au régime de moteur au ralenti pour les autobus. Même si, dans la présente étude, cette pratique n'a pas constitué un problème important, plusieurs organismes, dont l'Environmental Protection Agency des États-Unis, recommandent son élimination (Clean School Bus USA : <http://www.epa.gov/otaq/schoolbus/anti-idling.htm>). Nous recommandons l'adoption de cette politique non seulement afin de réduire l'exposition aux gaz d'échappement des moteurs diesel, mais aussi afin de réduire le gaspillage de carburant et l'usure des moteurs. Les chauffeurs devraient aussi périodiquement suivre une formation afin de comprendre les questions reliées au régime de moteur au ralenti. On devrait également adopter une politique d'élimination du régime de moteur au ralenti pour tous les véhicules présents sur les terrains des écoles.
2. Dans le cas de trajets courts, on devrait penser à réduire le nombre d'arrêts ou relocaliser les arrêts dans des zones à faible densité de circulation. Des arrêts fréquents accompagnés de l'ouverture des portes permettent une contribution accrue des sources extérieures (c.-à-d. de la circulation environnante) à la pollution à l'intérieur de l'autobus.
3. Afin d'éviter la pollution induite par l'autobus lui-même, on devrait repenser la configuration des tuyaux d'échappement des autobus pour les allonger vers le côté arrière gauche de l'autobus, de sorte que les gaz d'échappement ne soient pas émis du côté des portes. Un tuyau d'échappement au-dessus de l'arrière de l'autobus constituerait un endroit plus approprié pour l'émission des gaz d'échappement, puisque le vide créé à l'arrière d'un l'autobus lorsqu'il est en mouvement attire les gaz d'échappement

émis par les tuyaux situés sous l'autobus vers l'arrière de celui-ci. Les gaz d'échappement du carter devraient être relâchés au même endroit.

4. On devrait étudier de nouvelles méthodes de ventilation de l'habitacle de l'autobus et penser à installer des systèmes de filtration de l'air. Des études indiquent que l'air intérieur des autobus (habituellement climatisés) servant au transport en commun est moins pollué que celui des autobus scolaires (non climatisés).
5. Nous recommandons fortement que la priorité soit donnée à l'amélioration des autobus afin d'en réduire les émissions. Les mesures d'amélioration incluent l'installation de systèmes antipollution, comme des convertisseurs catalytiques d'oxydation et des filtres à matières particulaires. L'utilisation de carburant à basse teneur en soufre, disponible en 2006, est un élément essentiel à l'implantation de ces modifications. La présente étude montre que les moteurs munis d'un système d'injection de carburant à contrôle électronique émettent moins de  $MP_{2,5}$ , de SN et de composés organiques aromatiques à absorbance UV que les moteurs munis d'un système à contrôle mécanique. Des études plus poussées devraient être réalisées afin de confirmer ces conclusions.
6. À l'avenir, lorsqu'on achète ou qu'on loue un nouvel autobus, on ne devrait choisir qu'un véhicule à faible taux d'émission.
7. On devrait éviter les files d'autobus. Les autobus scolaires devraient quitter l'école à intervalle régulier plutôt que directement l'un à la suite de l'autre, afin d'éviter la proximité excessive des véhicules par rapport aux tuyaux d'échappement des véhicules qui les précèdent. On devrait apprendre aux chauffeurs à éviter autant que possible de se trouver à proximité des autres autobus scolaires à moteurs diesel.

## Études à envisager

Les résultats de la présente étude sur l'exposition ont permis d'identifier plusieurs questions à approfondir.

1. Il serait important de recueillir des données additionnelles sur la densité de la circulation, sur les types de véhicules roulant autour des autobus scolaires et sur la pollution causée par la circulation automobile et ambiante, afin de mieux distinguer entre les différentes sources de pollution à l'intérieur des autobus ainsi que de mieux refléter les conditions de conduite des autobus scolaires.
2. Il serait souhaitable de comparer l'exposition des élèves dans les autobus scolaires à celle qui prévaut durant le reste de la journée. Les recherches à venir à partir des données recueillies incluent l'évaluation de l'exposition pendant une journée entière, comparée à celle des trajets en autobus. Les résultats préliminaires indiquent que l'exposition aux  $MP_{2,5}$  dans les classes pourrait atteindre des niveaux comparables à l'exposition en autobus et qu'il existe des sources importantes de pollution de l'air intérieur dans les écoles.
3. Afin de permettre une meilleure comparaison des niveaux d'exposition, des études additionnelles pourraient inclure d'autres moyens de transport que l'autobus scolaire et la marche. On pourrait ainsi évaluer les déplacements en voiture, ceux effectués dans les autobus servant au transport en commun de même que ceux réalisés en autobus utilisant d'autres types de carburant (gaz naturel, biodiesel). On devrait cependant prendre en compte le fait que le remplacement des autobus par des voitures exigerait l'utilisation d'un grand nombre de véhicules, ce qui pourrait entraîner une pollution accrue de l'air ambiant, même si la pollution à l'intérieur des véhicules est faible parce que les portières ne sont pas ouvertes fréquemment.

4. Afin de mieux contrôler les conditions environnementales, on pourrait utiliser des scénarios d'exposition préétablis et ainsi évaluer plus précisément les niveaux d'exposition des élèves aux gaz d'échappement des autobus scolaires. L'utilisation de trajets spécifiques dans de telles conditions permettrait de mieux comparer les trajets et d'éliminer la plus grande partie du biais créé par les facteurs de confusion.
5. Il faudrait évaluer la contribution relative des sources de pollution de l'habacle provenant du carter et du tuyau d'échappement de l'autobus.
6. La présente étude sur les autobus scolaires devrait être réalisée à nouveau pendant d'autres saisons (hiver, automne, été), afin de déterminer si les niveaux d'exposition sont influencés par le changement des conditions saisonnières.
7. Il serait enfin souhaitable de réaliser des études épidémiologiques sur des groupes de sujets (panel), afin de préciser l'impact sur la santé d'une exposition aux polluants de l'air dans les autobus scolaires.