

**Évaluation de la qualité de l'air dans les trajets domicile-école.
-Cas de deux écoles primaires à Jijel-
Assessment of air quality in home-school pathways.
-Case of two primary schools in Jijel-**

MERABET Zeyneb ^{*1}, BOUCHAIR Ammar ²

¹ Laboratoire L.G.C.H. Université de Guelma (Algérie), merabet.zeyneb@univ-guelma.dz

² Laboratoire C.B.E., Université Mohamed Seddik Benyahia, Jijel (Algérie), abouchair@gmail.com

Date de réception. : 19/07/2021

Date d'acceptation: 22/12/2021

Résumé: En milieu urbain, les sources de pollution atmosphérique sont multiples. Le degré d'exposition des individus, et la capacité des tissus urbains à diluer les polluants dépendent de certains paramètres de formes et de géométrie. Les effets sur la santé sont délétères, particulièrement chez les enfants. Ce travail vise à évaluer la qualité de l'air dans les chemins domicile-école, de deux écoles primaires dans la ville Jijel, à travers l'analyse des différents paramètres urbains, et à l'aide de l'indice d'efficacité de ventilation urbaine (ACHvol). Il s'avère que plusieurs facteurs favorisent l'exposition à une mauvaise qualité de l'air sur le chemin des deux écoles. Le recours aux indices d'efficacité de ventilation urbaine, et aux nouvelles technologies lors des choix urbains, sont des outils prometteurs pour atténuer les effets néfastes sur la santé des enfants lors de leurs trajets quotidiens.

Mots clés: Qualité de l'air; trajets domicile-école; santé; enfants; ventilation urbaine.

Abstract: In an urban environment, there are many sources of air pollution. The degree of exposure of individuals, and the capacity of urban fabrics to dilute pollutants depend on various parameters of shape and geometry. The effects on health are harmful, especially on children. This work aims to assess the air quality in the home-school pathways of two elementary schools in the city of Jijel, through the analysis of various urban parameters, and using the urban ventilation efficiency index (ACHvol). It turns out that several factors promote exposure to poor air quality on the way to the two schools. The recourse of urban ventilation efficiency clues and the new technologies in urban choices are promising tools to reduce the tragic effects on children's health in their daily pathways.

Keywords: Air quality; home-school pathways; health; children; urban ventilation.

Introduction:

Dans un monde de plus en plus urbanisé, les défis relatifs à la qualité de vie, et à la santé des habitants des villes se multiplient. Ces derniers sont de plus en plus exposés à des phénomènes qui entraînent un large éventail de problèmes de santé. La pollution atmosphérique est en fait, l'un des facteurs majeurs de dégradation de la santé publique en milieux urbains. Si par le passé le risque été majoritairement lié à la présence d'industries, aujourd'hui, il existe une multiexposition et toute une palette de polluants, aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments. Les effets sur la santé varient de simples irritations, passant par le développement de pathologies respiratoires, neurologiques et cardio-vasculaires, arrivant à certaines formes de cancer ou de mort prématurée (WHO, 2005).

Les enfants, avec leur système immunitaire et leur organisme encore en croissance, sont tout particulièrement vulnérables. Plusieurs études scientifiques mettent en évidence les effets graves et

* Auteur correspondant

durables d'une mauvaise qualité de l'air sur la santé des enfants : en fait , ces études soulignent que la fréquence respiratoire chez les enfants est d'une fois et demie plus rapide que celle des adultes, ils inhalent donc plus de particules polluantes (Salvi, 2007). Lorsqu'ils sont à pieds, ils captent de grandes quantités de fumées dégagées des pots d'échappement, à cause de leur petite taille (UNICEF, 2019). Ceci représente un facteur de risque pour les affections respiratoires aiguës ou chroniques, favorise le développement de l'asthme, des poussées d'eczéma et l'aggravation d'autres pathologies respiratoires déjà existantes (UNICEF, 2019). Il a aussi été prouvé que l'exposition à la pollution a un effet sur le développement de leur santé sur le long terme (WHO, 2018).

Évaluer la qualité de l'air à laquelle les enfants sont exposés, comprend l'évaluation de celle-ci dans les lieux d'accueil de l'enfant, mais aussi dans ses parcours de déplacements quotidiens : son chemin vers l'école par exemple (Ries et al., 2010) : Les enfants se rendent quotidiennement aux écoles en parcourant des trajets d'une moyenne de dix minutes à pieds. Et comme la plupart de nos écoles sont implantées à proximité des axes routiers pour des soucis d'accessibilité, le risque d'exposition des élèves à une mauvaise qualité de l'air est renforcé (Roussel, 1993). De plus, les heures de sortie des écoles primaires coïncident généralement avec les horaires de pointe, on est donc face à une exposition forte, mais aussi fréquente et quotidienne, ce qui peut aggraver les effets sanitaires sur le long terme.

Néanmoins, la qualité de l'air dans un milieu urbain n'est pas exclusivement liée à la présence de sources d'émission. Des études antérieures ont démontré l'existence d'une corrélation entre la morphologie urbaine et la performance de ventilation (Bouketta & Bouchahm, 2020) (He et al., 2020). L'amélioration de la ventilation par le biais de certains paramètres urbains et architecturaux contribue à l'atténuation des effets de pollution, (Hang et al., 2015), (Bo et al., 2017), (Peng et al., 2020).

Dans la ville de Jijel, les statistiques de la direction de santé publique ont montré que 61% des enfants consultants dans l'ensemble des établissements hospitaliers pendant l'année 2019 souffraient d'affection respiratoire aiguë (D.S.P Jijel, 2019). Ce qui pousse à porter des réflexions sur le lien entre ces taux élevés et la qualité de l'air dans la ville.

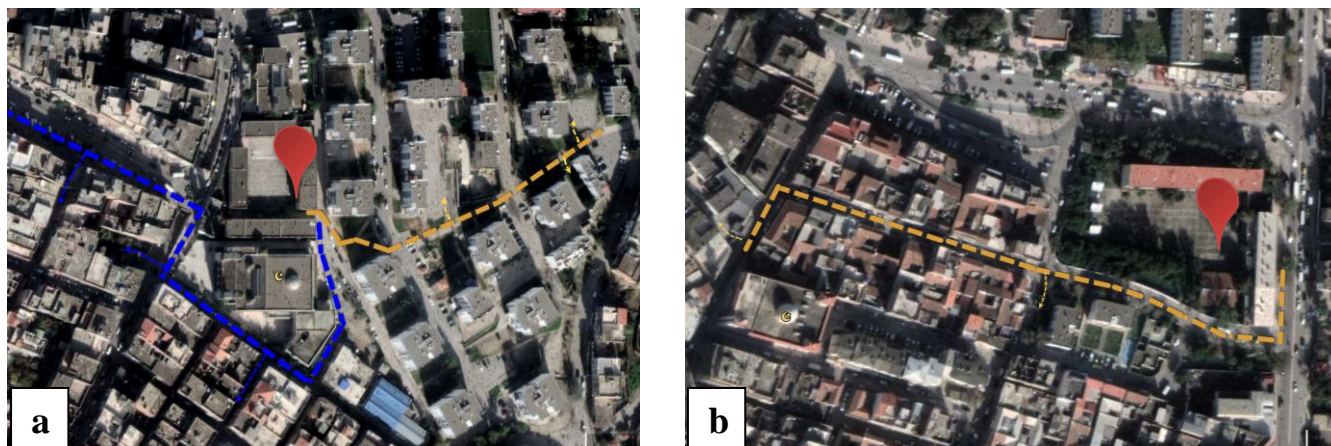
Dans cette optique la présente étude vise à répondre aux questions suivantes : A quel degré nos enfants sont-ils exposés à un air de mauvaise qualité lors de leur déplacement vers les écoles ? Étant donné que le défi ne concerne pas uniquement le secteur de santé publique, mais nécessite des efforts de tous les acteurs de la ville, en plus du fait que la forme urbaine est un facteur déterminant dans la lutte contre la pollution, quelles solutions l'urbanisme peut-il apporter pour assurer une meilleure qualité de l'air à nos enfants ?

1. Méthode et matériel :

Afin de répondre aux questions soulevées, la présente étude consiste à évaluer la qualité de l'air dans les chemins domicile-école, les plus parcourus par les élèves de deux écoles primaires à Jijel (l'école Mohamedi Messaoud et l'école Khecha Achène). Le choix de ces écoles comme cas d'étude a été effectué par rapport à leur emplacement par rapport aux sources d'émission de la ville, ainsi qu'en raison de la géométrie urbaine variée des quartiers environnants, afin de tirer des conclusions relatives aux paramètres urbains optimaux. Et ce en se basant sur :

- L'observation: pour identifier les trajets les plus fréquentés par les élèves des deux écoles (Fig.1).
- Une méthode analytique, où les paramètres agissant sur la qualité de l'air (sources d'émissions et facteurs d'exposition) ont été analysés pour chaque parcours.
- Le recours à l'indice d'efficacité de ventilation "*air exchange rate*", pour comparer les parcours ayant des conditions d'émission similaires.

Fig.1. Trajets identifiés pour chaque école.



a) L'école Mohamedi Messaoud, b) L'école Khecha Ahcène (Source: Auteurs, 2021).

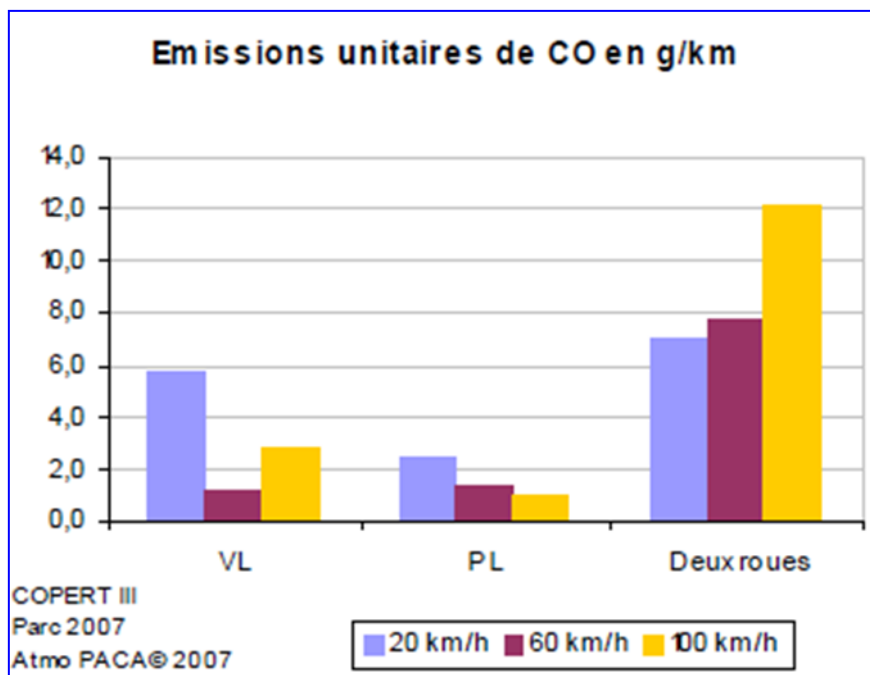
2. Résultats :

2.1 La ventilation urbaine :

2.1.1 Les paramètres urbains agissant sur la qualité de l'air :

Dans un milieu urbain, la question de qualité de l'air dépend d'une part, des quantités de polluants émis dans l'atmosphère par les activités humaines, mais d'autre part, du degré d'exposition auquel sont soumis les habitants. Outre les bâtiments sources, la circulation véhicule est responsable de la plus grande partie des émissions (Roussel, 1993).

Fig.2. Émissions unitaires en CO des véhicules légers (VL), poids lourds (PL) et "deux roues" en fonction de la vitesse moyenne.




Source: ATMO PACA; 2007.

En ce qui concerne l'exposition, les études démontrent plusieurs facteurs urbains agissant sur le transport, la dispersion des polluants et le renouvellement de l'air dans un lieu donné : Nombreuses sont les études qui traitent des interactions forme urbaine-vent et leurs effets sur l'évacuation de l'air pollué (Hang et al., 2013) (He et al., 2020) (Bouketta & Bouchahm, 2020). La densité ,par exemple, présente encore un antagonisme, elle contribue à la réduction des émissions, mais risque l'augmentation de l'exposition. Enfin (Bo et al., 2017) et plusieurs autres chercheurs ont aussi prouvé que quelques composantes urbaines tel que la végétation ont un effet épurateur de l'air ou un effet masque écran.

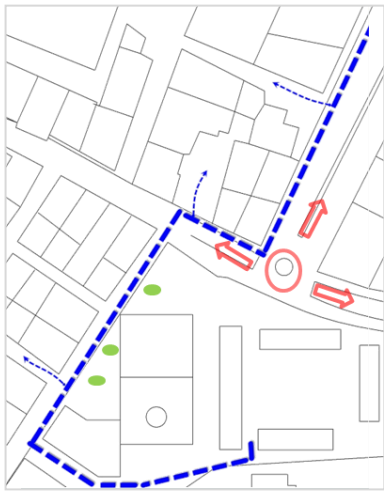
Les tableaux ci-dessous résument l'ensemble de ces éléments urbains identifiés dans chacun des trois parcours choisis :

Tableau 1. Données observées dans le parcours 01 – Ecole Mohammedi Messaoud.

Paramètres urbains	Parcours 01	Vue en plan
Distance	210m	
Axes routiers	Rues secondaires – faible trafic	
Nombre de véhicules	05	
Végétation	Partiellement présente	
Largeur des rues	17 à 28 m (L=H ou L=2H)	
Vitesse de l'air	3.34m/s	

Source: Auteurs, 2021

Tableau 2. Données observées dans le parcours 02 – Ecole Mohammedi Messaoud.

Paramètres urbains	Parcours 02	Vue en plan
Distance	300m	
Axes routiers	Intersection de deux axes à fort trafic – sortie de passage sous terrain	
Nombre de véhicules	> 60	
Végétation	Quelques arbres dispersés	
Largeur des rues	Etroites L< H sauf pour l'axe principal à sens unique	
Vitesse de l'air	4.5m/s - 4.04m/s - 3.7m/s	

Source: Auteurs, 2021

Tableau 3. Données observées dans le parcours 03 – Ecole Khecha Achene.

Paramètres urbains	Parcours 03	Vue en plan
Distance	300m	
Axes routiers	Intersection de deux axes à fort trafic	
Nombre de véhicules	> 60	
Végétation	Partiellement présente	
Largeur des rues	Etroites $L < H$	
Vitesse de l'air	3.50m/s	

Source: Auteurs, 2021

L'observation des éléments urbains a démontré que le parcours 01 (Voir tableau 1), est traversé par des rues secondaires, où le nombre de véhicules rencontrés est limité (uniquement 5 véhicules). Les émissions générés par le trafic routier sont donc minimes. Concernant les paramètres morphologiques, le rapport H/L sur ce parcours varie de $L=H$ à $L=2H$, les rues sont larges et la forme urbaine diffère de celle des parcours 02 et 03.

Les parcours 02 et 03 présentent une similitude au niveau des sources d'émission : Axes routiers et nombre de véhicules (Voir tableau 2 et 3) . Dans ce cas, la comparaison des niveaux d'efficacité de la ventilation dans les deux chemins, dépend des paramètres morphologiques et du comportement des vents. Cette comparaison, par le biais des indices d'efficacité de ventilation, nous permettra de tirer des enseignements sur les formes urbaines optimales.

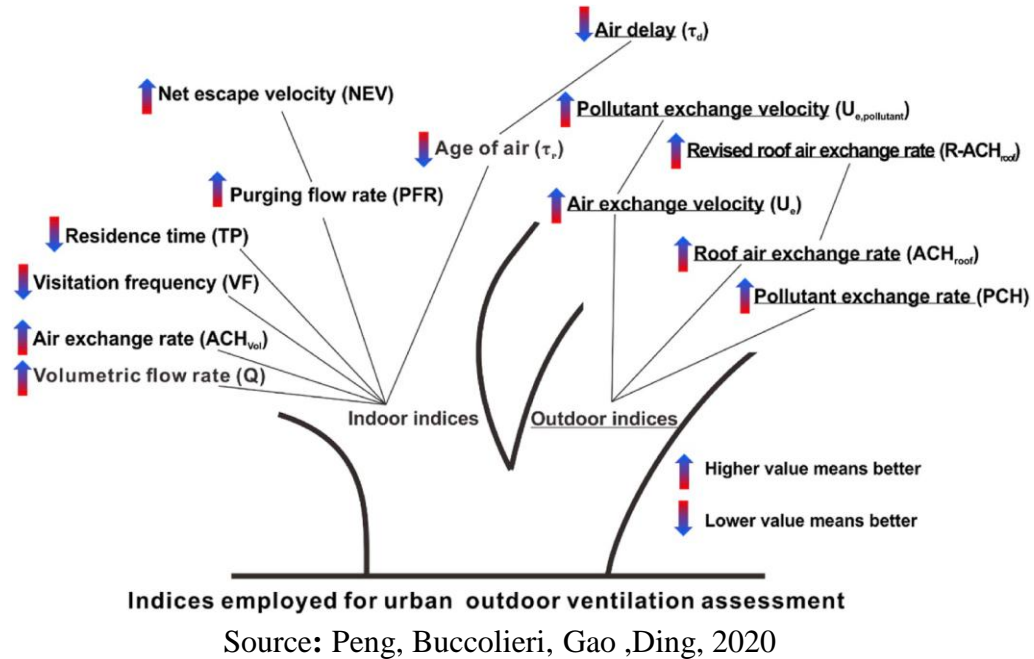
2.1.2. Les indices d'efficacité de ventilation urbaine:

L'efficacité de ventilation est un concept développé initialement pour indiquer la capacité de dissipation, de la pollution ou de la chaleur, dans une pièce, ou dans un environnement intérieur (Sandberg, 1981). Il a été généralisé par la suite pour évaluer la capacité d'une zone urbaine extérieure à diluer les polluants, la chaleur et l'humidité, par échange d'air entre l'intérieur et le dessus de la canopée urbaine (Peng et al., 2020).

À partir des années 1980, plusieurs critères et indices ont été introduits dans la littérature scientifique pour évaluer l'efficacité de ventilation urbaine. Peng Yunlong (Peng et al., 2020) les classe en deux groupes :

- Les indices développés initialement pour les environnements intérieurs puis généralisés pour les estimations extérieures.
- Les indices directement proposés pour les environnements urbains extérieurs.

Ces indices s'ajoutent aux critères de bases, tels que la vitesse et direction de l'air, la concentration des polluants...etc., et permettent de mieux cerner le phénomène en toute sa complexité.

Fig.2. Arbre résumant les indices de ventilation urbaine

2.1.2.1. L'indice ACHvol:

Parmi les indices permettant d'évaluer l'efficacité de ventilation urbaine, le "*Taux de renouvellement d'air*" ou "*Air exchange rate*" (*ACHvol*) est un indice proposé initialement pour les études de ventilation intérieure. Il indique le taux de renouvellement d'air par unité de temps (Chung & Hsu, 2001). Par la suite, Jian Hang, l'a employé pour estimer la ventilation extérieure. Il le définit par "*la quantité relative de renouvellement d'air entre l'espace du domaine urbain et l'air extérieur qui l'entoure*" (Hang et al., 2009). Il se calcule comme suit:

$$ACHvol = 3600Qt/Vol$$

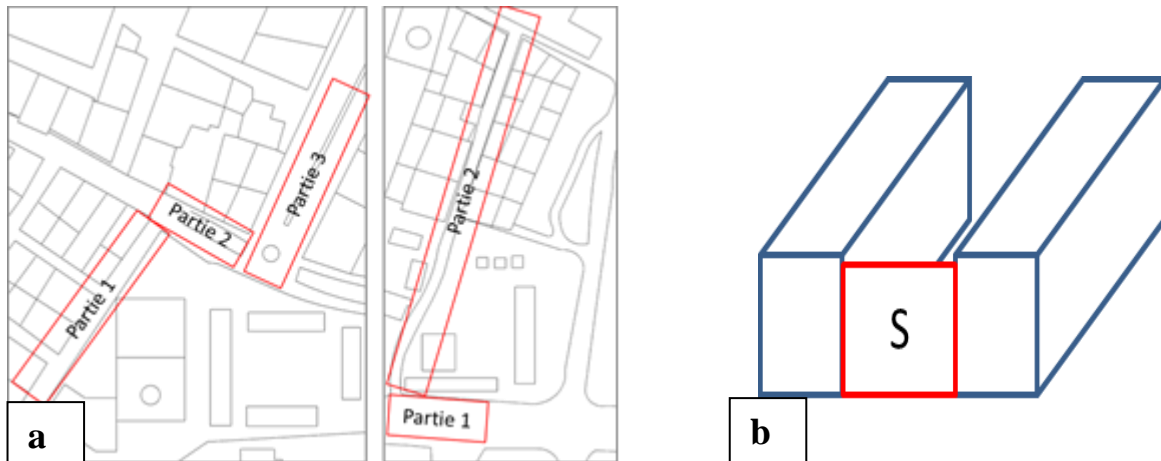
Où « *Qt* » représente le débit d'air moyen entrant dans le domaine urbain (pour notre cas uniquement le débit horizontal a été considéré), et « *Vol* » représente le volume du domaine étudié. Plus ACHvol est élevé, plus la ventilation est bonne, et donc plus la qualité de l'air est bonne.

Pour notre cas, dans un premier lieu, la vitesse et le débit d'air moyen horizontal sur les chemins 02 et 03 a été calculé, à partir de valeurs de vitesses mesurés sur terrain (Voir tableau 2 et 3), en divisant les parcours en parties homogènes (Voir figure 3a). Le débit horizontal « *Qt* » de chaque partie a été obtenu par l'équation suivante :

$$Qt = Vm * S$$

Où « *Vm* » représente la valeur moyenne des vitesses mesurés sur une surface choisie et « *S* » représentent la surface du domaine étudié (Voir figure 3b)

Fig.3. a) Parties de calcul pour chaque chemin ; b) méthode de définition de la surface « S » pour chaque partie.



Source : Auteurs, 2021

3. Interprétation des résultats:

L'analyse des facteurs urbains d'émission et d'exposition dans les trois chemins menant aux deux écoles primaires objets de cette étude a montré que; plusieurs paramètres favorisant l'exposition des enfants à une qualité de l'air dégradée lors de leurs déplacements quotidiens sont présents. En fait, les deux écoles sont implantées près des axes routiers principaux. Le nombre de véhicules rencontrés en parcourant les trajets 02 et 03, roulant à une petite vitesse, est important.

Aussi, la sortie du passage sous terrain à côté de l'école Mohammédi Messaoud est un point de forte concentration des particules polluantes, (Voir Tableaux. 2 et 3) surtout que les heures de sortie des enfants coïncident avec les horaires de pic journalier. L'absence de végétation ou d'autres composantes urbaines masques, favorise la création de microenvironnements pollués.

Parcours 01 :

Le parcours 01 présente les conditions les plus favorables à la santé des enfants, par le fait qu'il est à l'écart des routes principales, et que les rues sont suffisamment larges,(Voir Tableau. 1). Le temps passé par les enfants sous un air malsain est limité. Il est nécessaire de prendre cela en considération par les concepteurs, lors des choix de localisation des écoles dans les phases amont, mais aussi par les usagers, dans les choix des itinéraires à emprunter.

Parcours 02 et 03:

Lorsque les conditions d'émissions sont les mêmes, comme pour les parcours 02 et 03, le calcul de l'indice ACHvol a montré que le parcours 02 présente une meilleure capacité d'échange d'air, (Voir Tableau. 4). La ventilation est donc plus efficace sur ce chemin. Cela est lié principalement à la forme urbaine, notamment le rapport H/L qui est plus respecté.

Tableau 4. Indice ACHvol dans les parcours 02 et 03

	Parcours 02	Parcours 03
Vitesse des vents (m/s)	4.08	3.50
Qt (horizontal) (m ³ /s)	884.6	294
ACHvol (m³/h)	234.14	46.2

Source: Auteurs, 2021

L'indice ACHvol est un outil prometteur, qui peut être employé pour aider à la décision lors des choix urbains.

Conclusion:

La pollution de l'air a des effets délétères et durables sur la santé des habitants des villes en général et des enfants en particulier. L'analyse des trajets quotidiens des enfants des deux écoles primaires Mohamedi Messaoud et Khecha Ahcène dans la ville de Jijel, a montré l'existence de plusieurs facteurs favorisant l'exposition des enfants à une mauvaise qualité de l'air. Agir sur le degré d'exposition en ville peut s'avérer moins compliqué que la réduction des sources d'émissions. Cela comprend deux volets ; le premier, concerne les choix effectués en phases amonts de planification urbaine et de conception architecturale : la forme et géométrie, le rapport H/L, l'implantation, la présence de végétation et d'autres éléments masques ou épurateurs, ainsi que l'étude des conditions aérauliques et des comportements des particules polluantes. L'indice ACHvol et les autres indices d'efficacité de ventilation sont des outils d'aide qui ont prouvé leur efficacité.

Le deuxième volet concerne la sensibilisation des usagers à emprunter les itinéraires les moins pollués afin d'atténuer les effets néfastes sur la santé. Le recours aux nouvelles technologies est une bonne alternative.

Il est intéressant, lors de la conception des villes, d'opter pour des stratégies visant spécifiquement la réduction de l'exposition à la pollution des catégories de population dites sensibles, y compris les enfants.

L'évaluation des indices d'efficacité de ventilation à l'aide des codes de simulation numériques C.F.D (Computational fluid dynamics) peut permettre de donner des résultats plus détaillés et plus précis, et d'effectuer les meilleurs choix en matière de ventilation et de qualité de l'air.

Bibliographie :

1. Bo, M., Salizzoni, P., Clerico, M., & Buccolieri, R. (2017). Assessment of Indoor-Outdoor Particulate Matter Air Pollution : A Review. *Atmosphere*, 8(12), 136. <https://doi.org/10.3390/atmos8080136>
2. Bouketta, S., & Bouchahm, Y. (2020). Numerical evaluation of urban geometry's control of wind movements in outdoor spaces during winter period. Case of Mediterranean climate. *Renewable Energy*, 146, 1062- 1069. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.012>
3. Chung, K.-C., & Hsu, S.-P. (2001). Effect of ventilation pattern on room air and contaminant distribution. *Building and Environment*, 36(9), 989-998. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00051-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00051-2)
4. DSP Jijel. (2019). *Fiche Annuelle d'évaluation de la Morbidité par I.R.A Etat Global des consultations dans les unités périphériques et hôpital du secteur.*

5. Hang, J., Luo, Z., Sandberg, M., & Gong, J. (2013). Natural ventilation assessment in typical open and semi-open urban environments under various wind directions. *Building and Environment*, 70, 318-333. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.09.002>
6. Hang, J., Sandberg, M., & Li, Y. (2009). Age of air and air exchange efficiency in idealized city models. *Building and Environment - BLDG ENVIRON*, 44, 1714-1723. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.11.013>
7. Hang, J., Wang, Q., Chen, X., Sandberg, M., Zhu, W., Buccolieri, R., & Di Sabatino, S. (2015). City breathability in medium density urban-like geometries evaluated through the pollutant transport rate and the net escape velocity. *Building and Environment*, 94, 166-182. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.002>
8. He, B.-J., Ding, L., & Prasad, D. (2020). Relationships among local-scale urban morphology, urban ventilation, urban heat island and outdoor thermal comfort under sea breeze influence. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102289. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102289>
9. Peng, Y., Buccolieri, R., Gao, Z., & Ding, W. (2020). Indices employed for the assessment of “urban outdoor ventilation”—A review. *Atmospheric Environment*, 223, 117211. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117211>
10. Ries, F. J., Hystad, P., & Gouge, B. (2010). *Réduction de l'exposition non résidentielle des enfants à la pollution d'origine automobile*. En ligne : https://ccnse.ca/sites/default/files/Exposition_enfants_pollution_automobile_aout_2010.pdf (Consulté le 20/05/2021)
11. Roussel, I. (1993). La circulation automobile en ville : Émission et qualité de l'air, difficultés méthodologiques. *Hommes et Terres du Nord*, 1(1), 107-120. <https://doi.org/10.3406/htn.1993.2400>
12. Salvi, S. (2007). Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatric Respiratory Reviews*, 8(4), 275-280. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2007.08.008>
13. Sandberg, M. (1981). What is ventilation efficiency? *Building and Environment*, 16(2), 123-135. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(81\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0360-1323(81)90028-7)
14. UNICEF. (2019). *Pour chaque enfant, un air pur : les effets de la pollution de l'air en ville sur les enfants*. En ligne : https://www.unicef.fr/sites/default/files/atoms/files/unicef_pollutionair_web.pdf (Consulté le 07/03/2021)
15. WHO. (2005). *Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : Particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre Mise à jour mondiale 2005 Synthèse de l'évaluation des risques*. En ligne : http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69476/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_fre.pdf;jsessionid=5847C78201D5C5EF5EF607496C7AF4C7?sequence=1 (Consulté le 28/03/2020)
16. WHO. (2018). *Air pollution and child health : Prescribing clean air*. En ligne : <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1157950/retrieve> (Consulté le 07/05/2021)