

Faculté des sciences

Répartition spatiale des bénéfices et des risques environnementaux liés aux espaces verts dans les écoles secondaires de la Région de Bruxelles-Capitale

Une approche de justice distributive

Auteur·es : De Prins Apolline

Promoteur·rices : Vanwambeke Sophie

Lecteur·rices : Lambin Eric, Mossoux Sophie

Année académique 2025-2026

Remerciements

Merci à Sophie Vanwambeke pour son suivi et ses conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire

Merci à Sophie Mossoux pour ces suggestions et ses conseils techniques très utiles

Merci également à elle et Julie Loriaux pour ce beau projet. Merci de m'avoir fait confiance.

Finalement, merci à Pierrick Fauconnier pour ses nombreuses relectures et son soutien dans ma reprise d'études.

Table des matières

Remerciements	II
1 Introduction.....	1
2 Revue de la littérature.....	5
2.1 Espaces verts urbains et services écosystémiques.....	5
2.2 Espaces verts urbains et santé	7
2.3 Espaces verts, enfants et adolescents	8
2.4 Accessibilité aux espaces verts : normes, inégalités spatiales et enjeux scolaires	8
2.5 Végétalisation des cours d'école : enjeux, obstacles et solutions adaptées	9
3 Matériel et méthode	11
3.1 Zone d'étude.....	11
3.2 Données.....	12
3.2.1 Indicateurs environnementaux	14
3.3 Méthode	15
3.3.1 Construction du score de vulnérabilité environnementale	18
3.3.2 Variables socio-économiques des écoles.....	19
3.3.3 Analyses statistiques	20
4 Résultats.....	23
4.1 Indicateurs environnementaux	23
4.2 Indicateurs environnementaux selon le type d'enseignement.....	26
4.3 Identification des écoles les plus vulnérables	27
4.4 Relation entre la qualité environnementale des écoles et le statut socio-économique	29
4.4.1 Analyses bivariées	30
4.4.2 Analyses multivariées.....	31
4.4.3 Score de vulnérabilité intégrant les données socio-économiques	34
5 Discussion.....	36
5.1 Disponibilité de la végétation dans et autour des écoles secondaires	36
5.2 Services écosystémiques de régulation et exposition aux risques environnementaux	37
5.3 Différences selon le réseau d'enseignement	38
5.4 Différences selon le niveau socio-économique.....	39
5.5 Recommandations.....	40
5.5.1 Écoles prioritaires.....	40
5.5.2 Créer des aménagements adaptés aux adolescents.....	41

5.5.3	Ouverture sur le quartier	41
5.6	Mise en perspective régionale	42
5.7	Limites méthodologiques	43
5.8	Perspectives.....	44
6	Conclusion	45
7	Bibliographie	47
7.1	Utilisation de l'IA	52
8	Liste des figures et tableaux.....	53
8.1	Liste des figures	53
8.2	Liste des tableaux	55
9	Annexes	56
10	Biographie	63

1 Introduction.

Chaque année, environ 540 km² de terres sont artificialisés dans les villes et zones de déplacement domicile-travail en Europe (EEA, 2024). Cette artificialisation a un impact direct sur la biodiversité, la régulation hydrique et la capacité de stockage du carbone des sols (EEA, 2024). Ce phénomène est particulièrement marqué en Belgique, pays affichant l'un des taux d'urbanisation les plus élevés du continent (SPF Intégration Sociale, nd). Ces changements d'utilisation du sol provoquent un éloignement croissant des citoyens vis-à-vis de la nature, la connexion des individus au vivant ayant diminué de plus de 60 % depuis 1800 (Richardson, 2025). Cette étude souligne que la transmission intergénérationnelle du lien à la nature, soit la capacité des parents à transmettre à leurs enfants un intérêt et une familiarité avec le vivant, constitue la principale cause de cette baisse. Ce constat place les enfants et les adolescents au cœur des enjeux de reconnexion à la nature en milieu urbain (Richardson, 2025).

Au-delà de la perte de biodiversité, le déficit de végétation en ville a un coût sanitaire direct, en particulier via l'intensification des îlots de chaleur urbains (ICU). À Bruxelles, l'écart de température entre le centre urbain dense et les zones rurales environnantes peut atteindre plusieurs degrés lors des nuits d'été, un phénomène amené à s'intensifier avec le changement climatique (Lauwaet et al., 2016). À l'échelle européenne, une évaluation d'impact sanitaire menée sur 93 villes a estimé que les ICU seraient responsables de 6 700 décès prématurés chaque été, soit environ 4,33 % de la mortalité estivale totale, et qu'une augmentation de la canopée urbaine jusqu'à 30 % permettrait de prévenir près de 40 % de ces décès (lungman et al., 2023).

En Région de Bruxelles-Capitale (RBC), si près de 50 % du territoire est couvert de végétation, ce chiffre masque de profondes disparités spatiales : un motif concentrique clair existe entre le centre (pentagone à 12,7 %) et la seconde couronne (50 %) (Gaaloul, 2021 ; Gallez et al., 2024a ; De Muynck, 2025) (Fig. 1).

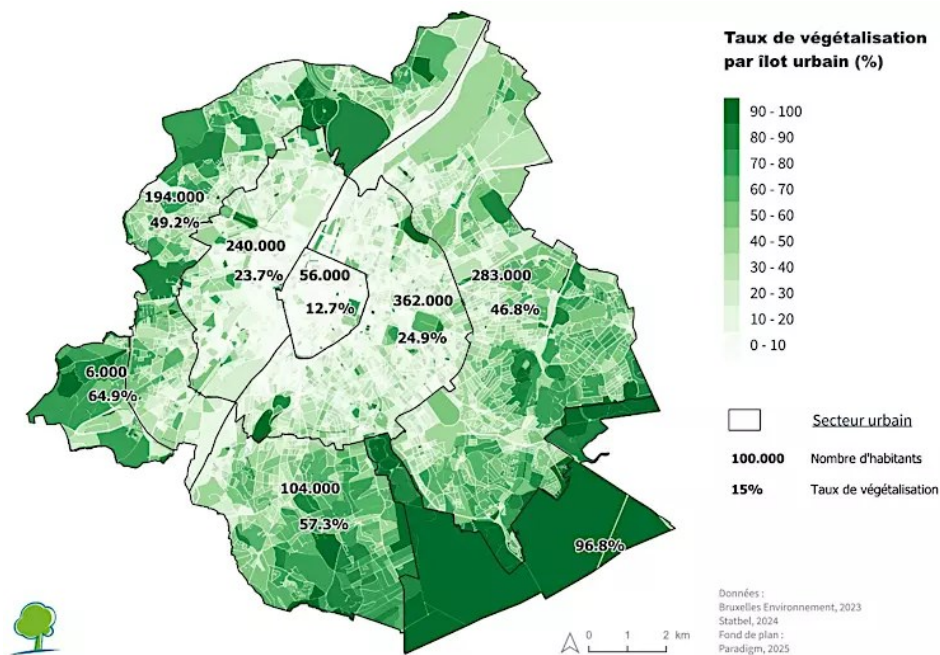


Figure 1 : Taux de végétalisation par îlot urbain à Bruxelles. (Sources : Bruxelles Environnement (2025a))

Pourtant, l'accès à la nature est un pilier des Objectifs de Développement Durable 2030 (ODD). L'ODD 11.7 stipule notamment la nécessité de fournir un accès universel à des espaces verts sûrs et inclusifs, en particulier pour les enfants et les adolescents, qui constituent les groupes les plus vulnérables aux risques environnementaux (Nations Unies, nd). Cette vulnérabilité est renforcée pour les jeunes issus de milieux socio-économiquement défavorisés, qui cumulent une moindre exposition au vert à l'école avec un accès plus limité à la nature dans leur cadre de vie quotidien (Wolch et al., 2014 ; Gallez et al., 2024a). L'exposition au vert est pourtant cruciale pour leur développement cognitif, leur mémoire de travail et la réduction du stress (Dadvand et al., 2015a ; Vella-Brodrick et Gilowska, 2022). L'école, où les élèves passent une part majeure de leur temps, représente donc un lieu privilégié pour améliorer l'accès et le contact avec des espaces verts.

Face à ces enjeux, des initiatives innovantes, adaptées au lieu et au projet dans lesquels elles s'inscrivent ont vu le jour. Le projet de recherche européen COOLSCHOOLS analyse les bénéfices des solutions fondées sur la nature comme « refuges climatiques » au sein des écoles (COOLSCHOOLS, 2022 ; Ruiz-Mallén et al., 2025). Parallèlement, l'Opération Récréation, lancée en 2021 par Bruxelles Environnement et Perspective.brussels, vise à transformer les cours d'école minéralisées en espaces végétalisés et conviviaux (Bruxelles Environnement, 2025b ; Sekulova et al., 2025). À ce jour, 20 écoles primaires bruxelloises ont été sélectionnées pour bénéficier de ce programme de transformation, avec un budget de travaux allant jusqu'à 300 000 € par école (Perspective, nd). Au printemps 2025, quatre écoles avaient déjà pu voir leur cour modifiée et végétalisée (Bruxelles Environnement, 2025b) (Fig. 2).



*Figure 2 : Avant - après de l'école Sainte-Trinité Cardinal Mercier 2 à Ixelles ayant participé à l'Opération Ré-création
(Source : Bubble (nd))*

Ces écoles ont notamment été sélectionnées grâce aux travaux d'Elsa Gallez. Dans le cadre de sa thèse de doctorat, Elsa Gallez a développé une approche multi-indicateurs de justice distributive. Cela consiste à examiner comment un bien est réparti entre différents groupes de population, souvent en le croisant avec des variables socioéconomiques afin de voir si certains groupes sont désavantagés. Son étude a permis d'évaluer, pour les écoles fondamentales bruxelloises, l'accès à la végétation, l'exposition aux services écosystémiques de régulation et aux risques environnementaux, ainsi que le profil socio-économique des élèves (Gallez et al., 2024a). Cette recherche a mis en évidence l'existence d'un « effet de luxe environnemental » : les enfants issus de familles plus aisées ont tendance à fréquenter des écoles bénéficiant d'une végétation interne et environnante plus abondante et d'une meilleure qualité environnementale (Gallez et al., 2024a).

Dans la lignée de ce projet, l'intérêt se porte ici sur l'enseignement secondaire, un milieu encore peu exploré (Gallez et al., 2024a). Ce mémoire a pour objectif d'identifier quelles écoles secondaires auraient le plus besoin de végétation. L'analyse se base sur neuf indicateurs dont sept environnementaux. Ces indicateurs environnementaux sont combinés à deux indicateurs socio-économiques agrégés au niveau des établissements. Plus spécifiquement, le revenu médian des ménages et le niveau d'éducation sont utilisés afin d'examiner dans quelle mesure les écoles les plus exposées aux risques climatiques et les moins végétalisées sont aussi celles qui accueillent les populations les plus vulnérables.

En transposant la méthodologie d'Elsa Gallez (2024a), ce travail souhaite offrir un outil d'aide à la décision pour prioriser les interventions de renaturation là où les inégalités socio-économiques et environnementales se cumulent (Delaunay et al., 2022 ; Gallez et al., 2024a).

L'objectif central de ce projet de recherche est de répondre à la question suivante :

« Quels sont les motifs spatiaux de répartition des bénéfices liés aux espaces verts urbains et des risques environnementaux au sein et autour des écoles secondaires de la Région de Bruxelles-Capitale, et dans quelle mesure cette distribution révèle-t-elle des inégalités de justice distributive liées au statut socio-économique des élèves ? »

Se posent ensuite plusieurs sous-questions de recherche :

- Quelle est la disponibilité réelle de la végétation (interne à la cour et canopée de rue) et l'accessibilité aux espaces verts publics pour les adolescents des écoles secondaires bruxelloises ?
- Quels sont les niveaux d'exposition aux risques climatiques (îlots de chaleur et pollution de l'air (PM₁₀)) selon la localisation géographique de l'établissement ?
- Existe-t-il une corrélation significative entre le profil socio-économique des élèves et la qualité environnementale de leur cadre scolaire ?
- Quelles écoles secondaires devraient être prioritaires pour de futurs programmes de végétalisation type « Opération Ré-création » ?

Sur la base des résultats déjà obtenus pour l'enseignement primaire bruxellois, deux hypothèses de travail sont formulées :

1. La distribution spatiale de la végétation et des risques environnementaux autour des écoles secondaires bruxelloises suit un motif concentrique centre-périphérie comparable à celui observé pour les écoles primaires.
2. Les écoles secondaires cumulant les plus mauvais indicateurs environnementaux sont aussi celles qui accueillent les populations les plus défavorisées.

Pour répondre à ces questions, ce mémoire s'articule en plusieurs étapes. Pour débiter, une revue de la littérature scientifique s'intéresse aux bénéfices des espaces verts urbains, à leurs effets sur la santé et le développement des enfants et des adolescents, ainsi qu'aux enjeux d'accessibilité et de justice environnementale. Ensuite, les indicateurs environnementaux et socio-économiques sont calculés et analysés. Les résultats obtenus sont ensuite présentés et discutés afin de répondre aux questions de recherche et confirmer les hypothèses de départ.

2 Revue de la littérature

2.1 Espaces verts urbains et services écosystémiques

Les infrastructures vertes et bleues sont aujourd'hui définies comme un réseau interconnecté d'espaces naturels et semi-naturels conçus pour fournir une vaste gamme de bénéfices environnementaux, sociaux et économiques (Stessens et al., 2017 ; Gallez et al., 2024b). Ces infrastructures incluent des parcs, forêts, zones humides et cours d'eau, visant à protéger la biodiversité, améliorer la qualité de l'air et réguler le microclimat urbain. Les bénéfices apportés par ces zones sont qualifiés de services écosystémiques. Ces services écosystémiques peuvent être autant régulateurs (atténuation des îlots de chaleur, filtration de l'air, infiltration des eaux pluviales) que culturels (bien-être, éducation, loisirs) (Stessens et al., 2017 ; Delaunay et al., 2022).

L'un des services de régulation les plus critiques en milieu urbain dense est la régulation thermique. Le phénomène d'îlot de chaleur urbain, défini comme l'écart de température entre les centres urbains denses et leurs périphéries rurales, est particulièrement intense la nuit lorsque les matériaux minéraux restituent la chaleur accumulée durant la journée (Gaaloul, 2021). Il peut y avoir plusieurs degrés de différence entre le centre urbain et la campagne (Fig. 3). La végétation, dont notamment les espaces verts urbains (EVU), lutte contre ce stress thermique en réduisant les températures locales de plusieurs degrés grâce à l'évapotranspiration et à l'ombrage (Lauwaet et al., 2016). Lutter contre les îlots de chaleur urbain est particulièrement important dans le contexte de réchauffement climatique. Avec des vagues de chaleur de plus en plus fréquentes et de températures de plus en plus hautes, la végétation est une solution concrète à la surchauffe urbaine.

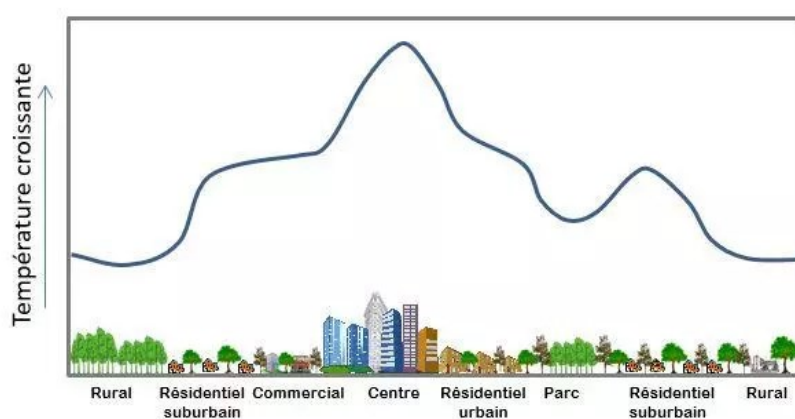


Figure 3 : Représentation du phénomène d'îlot de chaleur (Source : Bruxelles Environnement (2025c))

A Bruxelles, l'intensité de l'ICU a été modélisée par Lauwaet et al. (2016) à l'aide du modèle climatique urbain UrbClim. Ce dernier a mis en évidence un écart de température pouvant atteindre plusieurs degrés entre le centre-ville et la périphérie rurale lors des nuits d'été. Cet

écart sera amené à s'accroître sous l'effet du changement climatique au cours des prochaines décennies.

La Ville de Bruxelles a précisé ce constat par une campagne de mesures menée durant l'été 2022, combinant sondes météorologiques, imagerie satellite et simulations numériques sur plusieurs sites pilotes. Lors de la nuit du 18 au 19 juillet 2022, en pleine vague de chaleur, l'écart entre sites urbains et référence rurale a atteint 9 à 10°C à 23h, contre des températures diurnes similaires, voire plus élevées en milieu rural (Ville de Bruxelles, 2023). Cette étude distingue par ailleurs trois niveaux d'analyse complémentaires. D'abord, l'ICU étant l'écart de température de l'air, mesurable par sondes. Ensuite, le confort thermique qui correspond à la température ressentie, exprimée en degrés PET. Et finalement le bien-être thermique, dimension subjective qui dépend de facteurs socio-économiques tels que l'âge, le revenu ou l'accès à un espace vert (Ville de Bruxelles, 2023). Cette dernière dimension rejoint directement la perspective de justice environnementale mobilisée dans ce mémoire, l'inconfort thermique n'est pas vécu de manière uniforme par tous les élèves.

De plus, le stress thermique n'est pas équivalent dans toute la Région de Bruxelles-Capitale. En effet, les quartiers du centre, du nord et sur l'axe du canal sont davantage vulnérables à la chaleur tandis que le sud de Bruxelles, où les quartiers sont plus végétalisés et moins denses, bénéficie d'un stress thermique plus faible (Fig. 4).

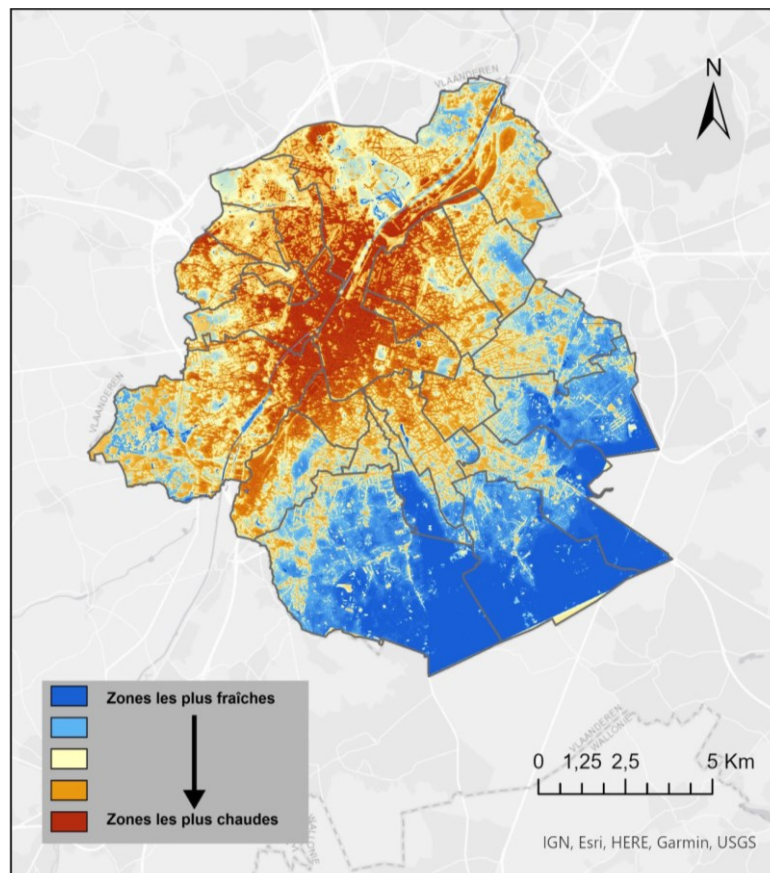


Figure 4 : Îlots de chaleur dans la Région de Bruxelles-Capitale. Réalisée à partir des données de Paradigm (2018)

Les espaces verts urbains jouent également un rôle clé dans la régulation de la qualité de l'air. Des études utilisant la télédétection montrent que la végétation urbaine permet de capter les particules fines (PM₁₀, PM_{2.5}) et les gaz polluants (NO₂, Black Carbon), réduisant ainsi l'exposition des populations vulnérables (Islam et al., 2024). À Bruxelles, la pollution de l'air est inégalement répartie : les quartiers centraux (Saint-Josse, Molenbeek, Anderlecht, Saint-Gilles) ont des niveaux de pollution plus élevés que la périphérie (Gallez et al., 2024a). Cette inégalité spatiale est renforcée par la faible couverture végétale dans ces quartiers, qui réduit la capacité naturelle de filtration de l'air (Dadvand et al., 2015b). Une étude menée sur Bruxelles montre que 62 % de la population vit dans des quartiers où la qualité des espaces verts urbains est inférieure à la moyenne régionale (Stessens et al., 2017).

2.2 Espaces verts urbains et santé

Les espaces verts et les services écosystémiques qu'ils fournissent ont un impact positif sur la santé physique mais également mentale de la population.

En termes de santé physique, l'un des bénéfices les plus marqués concerne la santé cardiovasculaire. Une utilisation fréquente de ces zones vertes est liée à une diminution des risques de maladies coronariennes et d'accidents vasculaires cérébraux (OMS, 2016). Les travaux rapportés par l'OMS (2016) soulignent les bienfaits physiologiques des parcs urbains : la marche y réduit la pression artérielle et la fréquence cardiaque de manière nettement plus significative qu'en milieu urbain très bâti. De plus, la proximité d'un parc favoriserait l'activité physique des résidents, notamment chez les jeunes.

Les effets sur la santé mentale sont également multiples. La fréquentation des zones naturelles en ville joue un rôle primordial dans la régulation du stress et la restauration de l'attention. Sur le plan biologique, des niveaux de cortisol salivaire plus bas ont été mesurés chez des personnes exposées à la nature. Une étude d'imagerie cérébrale a montré qu'une marche en environnement naturel s'accompagnait d'une réduction de l'activité du cortex préfrontal subgénéral, une région associée aux symptômes dépressifs (OMS, 2016). De plus, une méta-analyse récente portant sur la régulation du stress a confirmé que la marche en milieu naturel réduisait significativement le stress auto-rapporté ainsi que plusieurs marqueurs physiologiques de stress, un effet plus marqué que celui observé lors d'une marche en milieu urbain bâti (Sparacio et al., 2023).

Au-delà de ces effets physiologiques, l'accès à la nature urbaine réduit les risques de troubles mentaux tels que l'anxiété et la détresse psychologique, tout en améliorant la vitalité globale des résidents. Ces espaces agissent comme des piliers du capital social en offrant des lieux d'interaction qui brisent l'isolement et renforcent le sentiment d'appartenance à une communauté (OMS, 2016).

L'impact positif de ces sites dépend toutefois davantage de leur qualité (incluant l'entretien, le sentiment de sécurité et la présence de sons naturels) que de la simple superficie

végétalisée disponible. Ces bienfaits sont particulièrement marqués chez les populations vulnérables, notamment les femmes enceintes pour qui l'accès aux espaces verts réduit les risques de dépression prénatale, ou encore les personnes âgées pour qui la fréquentation régulière d'espaces verts a été associée à une meilleure qualité du sommeil et à un renforcement des liens sociaux de voisinages (OMS, 2016).

2.3 Espaces verts, enfants et adolescents

Pour les enfants, la présence de végétation autour des écoles et des habitations est un facteur clé du développement, favorisant une meilleure mémoire de travail, une réduction des comportements liés au trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité ainsi qu'un meilleur développement cognitif (Dadvand et al., 2015a ; OMS, 2016). Ces effets seraient en partie dus à la diminution de l'exposition aux polluants atmosphériques à proximité des écoles (Dadvand et al., 2015b ; Gallez et al., 2024a).

Pour les adolescents, les espaces verts agissent comme des régulateurs de l'humeur et des facteurs de protection contre les symptômes dépressifs et l'anxiété (McCormick, 2017).

L'environnement scolaire offre également un cadre privilégié pour l'apprentissage social et la créativité. L'introduction d'éléments naturels dans la cour stimule le jeu libre et l'imaginaire des élèves (Delaunay et al., 2021 ; Delaunay et al., 2022). Par ailleurs, le contact avec la biodiversité et les éléments naturels sont des supports à la diversification des formes de socialisation et d'apprentissage de la coopération (Delaunay et al., 2021 ; Sekulova et al., 2025). L'école joue ainsi un rôle compensatoire fondamental pour les jeunes n'ayant pas accès à des espaces verts dans leur milieu résidentiel (Gallez et al., 2024a).

Ces constats ont motivé le développement de projets tels que COOLSCHOOLS, qui a démontré que la transformation des cours d'école en refuges climatiques fondés sur la nature ne se limitait pas à un effet de rafraîchissement, mais générait d'autres bénéfices : amélioration de la qualité de l'éducation, restauration écologique, renforcement du sentiment d'autonomisation des élèves, reconnexion à la nature, et mise à disposition d'espaces plus sains, plus sûrs, plus ludiques et plus équitables pour les enfants (Ruiz-Mallén et al., 2025).

2.4 Accessibilité aux espaces verts : normes, inégalités spatiales et enjeux scolaires

L'accès aux bénéfices de la nature n'est pas distribué de manière équitable sur le territoire, révélant des motifs de justice distributive marqués. Plusieurs normes internationales tentent de définir un accès minimal acceptable : l'OMS recommande un accès à un espace vert de 0,5 hectare à moins de 300 mètres du domicile (Gaaloul, 2021 ; Gallez et al., 2024a). La règle « 3-30-300 » préconise la visibilité de 3 arbres depuis chez soi, 30 % de canopée dans le quartier et un parc public à moins de 300 mètres (Konijnendijk, 2023). Cette règle vise à fournir un cadre simple et mémorisable pour évaluer l'accès à la nature en ville selon ces trois dimensions complémentaires.

Une évaluation récente de cette règle, menée sur les 862 villes européennes de plus de 50 000 habitants, a révélé que seuls 13,5 % des citoyens européens vivaient en pleine conformité avec les trois critères. A l’opposé, 21 % des résidents ne bénéficiaient d’aucun critère (Bertassello et al., 2026). Le critère le moins respecté est celui des 30 % de canopée de rue par quartier. Seule 28 % de la population vit dans des quartiers suffisamment arborés, contre 57 % pour l'accès à un parc à moins de 300 mètres (Bertassello et al., 2026).

En Région bruxelloise, l'objectif gouvernemental est que chaque habitant dispose d'un espace vert de plus d'un hectare à moins de 400 mètres de son logement, mais environ 22 % des Bruxellois ne disposent toujours pas d'un parc de proximité (Bruxelles Environnement, 2026). Les inégalités spatiales à Bruxelles suivent un motif concentrique : les quartiers centraux et la zone du canal cumulent un déficit de végétation, une forte densité de population et une précarité socio-économique élevée (Gallez et al., 2024a ; De Muynck, 2025). Le territoire bruxellois se caractérise par un « croissant pauvre » central et nord-occidental où la concentration de ménages à bas revenus y est élevée. De plus, ces quartiers subissent une pression démographique importante, avec une augmentation de la population nettement supérieure aux communes du sud-est de Bruxelles (Van Hamme et al., 2016). Les inégalités environnementales se cumulent à ces disparités socio-économiques. Les mêmes quartiers centraux combinent déficit de végétation, exposition à la chaleur et à la pollution de l'air (Bruxelles Environnement, 2025a ; De Muynck, 2025).

Si cette fracture sociale et environnementale est si importante au sein des quartiers bruxellois, il en est de même dans le milieu scolaire. Les études montrent l'existence d'un « effet de luxe », où les enfants issus de familles aisées fréquentent généralement des écoles disposant de plus de végétation interne et environnante (Gallez et al., 2024a). L'école est pourtant un lieu de vie majeur où les élèves passent une part importante de leur temps (jusqu'à 200 jours par an) et les environnements scolaires actuels ont tendance à reproduire les inégalités environnementales de la ville (Gallez et al., 2024a).

2.5 Végétalisation des cours d'école : enjeux, obstacles et solutions adaptées

Les cours d'école actuelles sont souvent minérales et imperméables, limitant leur fonction écologique (Delaunay et al., 2022). La Région bruxelloise est particulièrement concernée par cette problématique. En effet, dans une comparaison portant sur quatre villes européennes, Gallez et ses collègues ont montré que les écoles bruxelloises figuraient parmi les moins bien dotées en végétation et en espaces bleus à proximité. Ce constat place Bruxelles en position défavorable par rapport aux autres villes étudiées (Gallez et al., 2024b). Ces espaces, souvent qualifiés de « déserts ludiques », sont aujourd'hui au cœur de programmes de renaturation comme l'Opération Ré-création à Bruxelles ou les Cours Oasis à Paris (Delaunay et al., 2021; Delaunay et al., 2022 ; Sekulova et al., 2025). En Wallonie, le programme « Ose le vert, recrée ta cour », porté par GoodPlanet Belgium et Natagora avec le soutien de la Région wallonne, poursuit un objectif similaire depuis 2016. Plus de 550 écoles fondamentales ont pu être

accompagnées dans la végétalisation de leur cour à travers cinq appels à projets successifs (GoodPlanet Belgium & Natagora, nd). En effet, leur renaturation permet de créer des îlots de fraîcheur urbains tout en favorisant la biodiversité et l'activité physique (Delaunay et al., 2022). Cependant, des freins culturels persistent : crainte de l'hygiène, des allergies, des accidents, ou de la salissure liée à la terre et aux feuilles (Delaunay et al., 2022).

Les craintes liées à la sécurité et à l'augmentation des accidents en milieu naturel sont fréquentes, bien que les études ne montrent pas de hausse des blessures dans les cours végétalisées (Delaunay et al., 2021). Sur le plan technique, la densité bâtie et la présence de réseaux souterrains limitent parfois les plantations en pleine terre (Delaunay et al., 2021; Gaaloul, 2021). Les solutions les plus prometteuses reposent sur une approche participative impliquant les élèves et les enseignants dès la conception pour favoriser l'appropriation des lieux (Bruxelles Environnement, 2025b ; Sekulova et al., 2025). L'utilisation de dispositifs tels que des « rivières pédagogiques » ou des potagers transforme la cour en un laboratoire vivant. L'apprentissage se fait alors par l'expérience directe (Delaunay et al., 2021). Ces projets transforment durablement le paysage scolaire quotidien au profit d'interactions plus riches entre les adolescents et leur environnement.

3 Matériel et méthode

La méthode de ce projet se base sur la méthode développée par Elsa Gallez dans l'article « *A multi-indicator distributive justice approach to assess school-related green infrastructure benefits in Brussels* » pour les écoles primaires en Région Bruxelles-Capitale (2024a). Cette méthode est transposée aux écoles secondaires afin de permettre une comparaison précise des résultats et des conclusions.

3.1 Zone d'étude

L'analyse se concentre sur les écoles secondaires de la Région Bruxelles - Capitale. Composée de 19 communes, cette région a une superficie de 161,38 km² pour 1 250 862 habitants au 1er janvier 2025. La densité de population est de 7.732 hab./km². Cependant, cette densité varie fortement d'une commune à l'autre allant de 23.486 hab./km² à Saint-Josse-ten-Noode à 1.953 hab./km² à Watermael-Boitsfort (Statbel, 2026).

La part de couverture végétale sur le territoire bruxellois est de 48,7% mais les inégalités entre les différentes communes sont importantes. La commune de Saint-Gilles n'a que 16% de couvert végétal tandis qu'à Watermael-Boitsfort, on atteint 83% de couvert végétal (Bruxelles Environnement, 2025a).

Au sein de la région, on trouve 541 écoles fondamentales (maternelle et primaire) et 195 écoles secondaires (IBSA, nd). Une même école pouvant être répartie sur plusieurs sites physiques, on comptabilise en réalité 280 implantations accueillant des élèves du secondaire, 199 francophones, 67 néerlandophones et 14 écoles internationales. La répartition des implantations secondaires est présentée dans la figure 5.

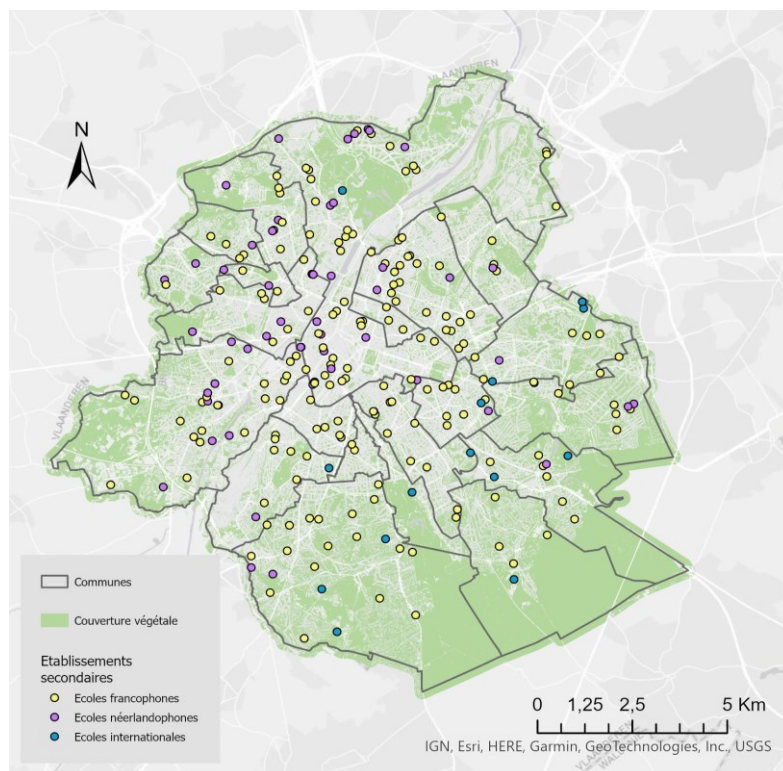


Figure 5 : Implantations de l'enseignement secondaire en Région Bruxelles-Capitale et couverture végétale de la région

3.2 Données

La base de données des écoles est construite en combinant deux sources d'information. Tout d'abord une base de données transmise par Perspective. Celle-ci fournit toutes les informations des écoles secondaires de l'enseignement libre et officiel de la Région Bruxelles-Capitale dont notamment leurs coordonnées géographiques qui ont pu être utilisées pour créer une couche cartographique. Dans ce fichier, on trouve également le nom de l'école, le pouvoir organisateur, le réseau d'enseignement et l'adresse complète. Ensuite, les écoles internationales ont été ajoutées via la base de données « Point of interest » d'UrbIS - Vecteur produite par Paradigm (2024). Ces points ont été exportés et nettoyés afin de vérifier que chaque point corresponde bien à un bâtiment scolaire. La vérification est faite manuellement, en utilisant Google street view ou en vérifiant l'adresse de l'école via son site internet.

Le choix a été fait de se concentrer sur les écoles situées en zone de carence en espaces verts accessibles au public. Une zone de carence est définie par Bruxelles Environnement comme une zone située à plus de 200 m d'un espace vert d'une taille inférieure à 1 hectare et à plus de 400 m d'un espace vert d'une taille supérieure à 1 hectare (Bruxelles Environnement, 2026). Ce choix est fait car le programme « Opération Ré-création » cible prioritairement les écoles situées dans des zones denses et déficitaires en végétation. L'objectif est de permettre aux élèves qui ne croisent pas forcément d'espaces verts sur leur chemin ou dans leur quartier de bénéficier d'un contact quotidien avec la nature. L'hypothèse de départ est donc que les écoles situées en zone de carence en espaces verts sont prioritaires par rapport aux autres écoles.

Les zones de carence en espaces verts accessibles au public dans la Région de Bruxelles-Capitale sont identifiées par Bruxelles-Environnement (Paradigm, nd). Sur 280 établissements secondaires, 82 (soit 29,3%) se situent dans une telle zone (Fig. 6).

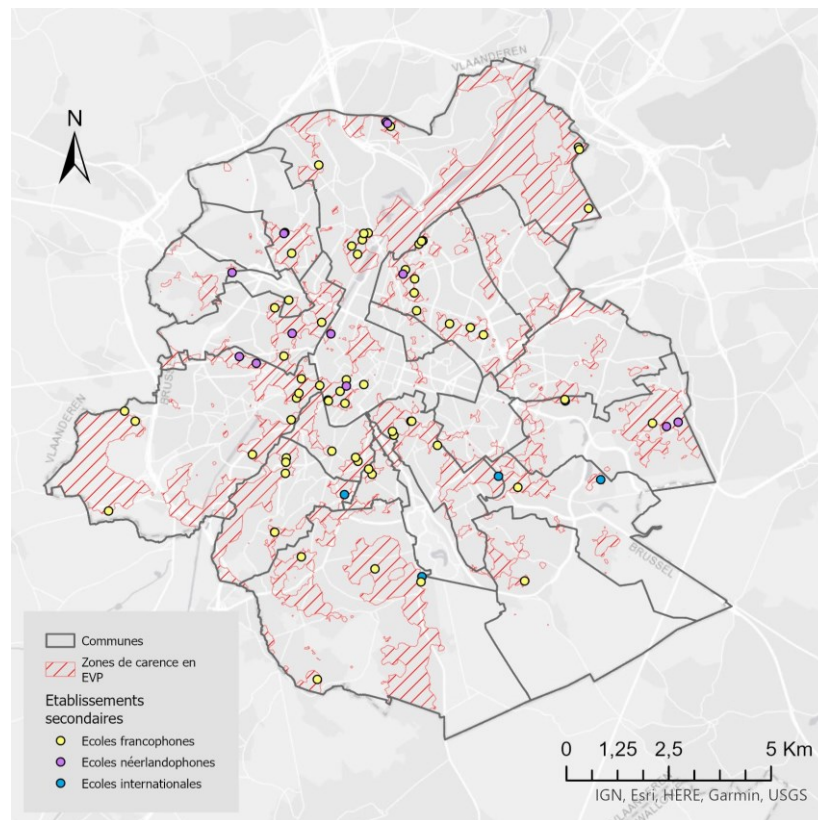


Figure 6 : Établissements de l'enseignement secondaire situés dans une zone de carence en espaces verts accessibles au public

La base de données finale est composée de 62 écoles francophones, 16 néerlandophones et quatre internationales. En termes de type d'école, cela correspond à 32 écoles de l'enseignement officiel, 46 écoles libres et quatre écoles privées.

Toutes les écoles fournissent au minimum un niveau d'éducation secondaire mais certaines ont également un établissement primaire. Sept écoles sont des établissements d'enseignement spécialisé et deux sont des organismes proposant un enseignement aux enfants hospitalisés.

3.2.1 Indicateurs environnementaux

Pour l'analyse environnementale, sept indicateurs sont calculés, trois indicateurs d'infrastructures vertes, deux indicateurs de services écosystémiques de régulation et deux indicateurs de risques environnementaux (Tab. 1).

Tableau 1 : Explication des sept indicateurs de qualité environnementale et provenance des données

Catégorie	Indicateur	Unité et échelle	Sources de données
Indicateurs d'infrastructures vertes <i>Indicateurs favorables, un résultat élevé est considéré comme positif</i>	Couverture végétale interne	% de couvert végétal (herbe, arbustes et arbres) à l'intérieur des cours d'école.	Données sur la végétation urbaine (résolution : 25 cm) - Modèle de hauteur de canopée (Région de Bruxelles-Capitale, 2021) (Gallez, 2024c). Couche des cours d'école basée sur les données Perspective et Paradigm (2024) et les données « Parcelles et bâtiments » d'UrbIS – Vecteur (Paradigm, 2024)
	Canopée de rue	% de canopée de rue dans une zone de 300 m (réseau piéton) depuis les entrées principales des écoles.	Couche de canopée issue de la couche de couvert végétal (Gallez, 2024c). Couche de surface des rues d'UrbIS-Vecteur (Paradigm, 2024). Aire de service réseau (300 m) créée via ArcGIS.
	Espaces verts publics accessibles	Nombre d'espaces verts publics accessibles (< 0,5 ha) situés à moins de 300 m (avec une marge de 25 m de part et d'autre du réseau piéton) de l'entrée principale.	Couche des espaces verts publics issue de la base de données de Bruxelles Environnement (Paradigm, nd)
Services écosystémiques de régulation <i>Indicateurs favorable, un résultat élevé est considéré comme positif</i>	Purification de l'air	Capacité de purification de l'air de chaque type de végétation (arbres, arbustes, herbe) dans un périmètre euclidien de 300 m autour de la parcelle scolaire.	Mêmes couches de végétation et de périmètre scolaire que pour la végétation interne. Taux d'approvisionnement en purification de l'air issus du travail d'Elsa Gallez (2024a).

	Régulation thermique urbaine	Capacité de réduction de la température de chaque type de végétation (arbres, arbustes, herbe) dans un périmètre euclidien de 300 m autour de la parcelle scolaire. (poids attribué à la fraction végétale).	Taux d'approvisionnement en régulation thermique issus du travail d'Elsa Gallez (2024a).
Risques environnementaux <i>Indicateurs défavorables, un résultat élevé est considéré comme négatif</i>	Pollution de l'air	Niveau moyen de pollution de l'air (particules fines PM ₁₀) (µg/m ³ /an) dans un périmètre euclidien de 300 m autour de la parcelle scolaire.	Couche de pollution de l'air (résolution : 10m) issue de IRCEL-CELINE (2024).
	Risque de chaleur	Différence de température moyenne entre le centre-ville et les zones rurales (°C) dans un périmètre euclidien de 300 m autour de la parcelle scolaire.	Couche ICU estimée via le modèle UrbClim et obtenue via Elsa Gallez et la VUB.

3.3 Méthode

L'étude s'effectue en deux parties. La première repose sur le calcul et l'analyse de sept indicateurs environnementaux. Cette partie permet d'observer les motifs spatiaux d'accessibilité aux espaces verts dans et autour des écoles secondaires de la Région de Bruxelles-Capitale. La seconde partie s'intéresse au lien entre les indicateurs environnementaux et les données socio-économiques des élèves.

Les indicateurs d'infrastructures vertes permettent d'évaluer l'accès et l'exposition des adolescents à la végétation au sein et dans les alentours de l'établissement scolaire avant, pendant et après les heures de cours.

Pour le premier indicateur, la cour est cartographiée et le couvert végétal intérieur est identifié. La part de végétation au sein de l'école est ensuite calculée en divisant l'aire couverte par de la végétation par la superficie totale de la cour d'école. Selon Elsa Gallez

(2024a), l'objectif à atteindre est 30% de végétation. Cet indicateur inclut tous les types de végétation (herbe, arbustes et arbres).

La canopée de rue a également été cartographiée et analysée. Pour cet indicateur, seuls les arbres sont gardés. La zone prise en compte pour cet indicateur est le réseau piéton sur 300 mètres autour de l'école à partir de son point d'entrée. La surface recouverte par les arbres est calculée et divisée par la superficie totale du réseau piéton.

Le dernier indicateur d'infrastructure verte est l'accès à un espace vert public. Est considéré ici comme espace vert public tout parc ou jardin public, ferme urbaine, plaine de jeux,... constitué d'au minimum 30% de couvert végétal et 30% de sol perméable. Ces deux seuils garantissent que l'espace vert ait une qualité écologique suffisante. Afin d'être en accord avec les travaux réalisés sur les écoles primaires bruxelloises, le choix de la distance rendant accessible un espace vert à partir d'une école est de 300 mètres. Cette distance est en accord également avec les recommandations de l'OMS. Pour capturer l'espace entre les routes et les entrées des espaces verts publics, 25 mètres sont ajoutés de chaque côté des trottoirs (Aire de service (buffer) (Fig. 7.)).

Ces espaces verts situés dans un rayon proche des écoles, peuvent autant être utilisés et traversés avant et après l'école par les adolescents et les familles mais pourraient également être utilisés pendant les heures de cours.



Figure 7 : Visualisation des données utilisées pour le calcul des indicateurs environnementaux

Ensuite, la quantification de deux services écosystémiques de régulation est réalisée, la purification de l'air et la régulation de la température urbaine. Ces deux indicateurs mesurent les services écosystémiques fournis par la végétation dans et autour des écoles, dans un rayon de 300 mètres autour de la parcelle scolaire.

L'indicateur de purification de l'air évalue la capacité de la végétation à intercepter et fixer les polluants atmosphériques. Il est calculé en attribuant un score à chaque type de végétation. Pour chaque école, les surfaces occupées par les différentes strates végétales (bois, arbres, arbustes et herbacés) dans le rayon de 300 mètres sont extraites, puis multipliées par des taux spécifiques exprimés en grammes par mètre carré et par an ($\text{g/m}^2/\text{an}$) (Tab. 2). Ces taux proviennent du travail d'Elsa Gallez (2024a) et ont été élaborés en se basant sur la littérature scientifique.

Tableau 2 : Taux de purification de l'air attribué selon le type de végétation

Type de végétation	Taux attribué ($\text{g/m}^2/\text{an}$)
Bois/forêt (arbres groupés correspondant à des zones de couverture arborée de $\geq 0,7$ ha)	2,69
Arbre seul	3,98
Arbuste	2,05
Herbacé	0,90

Ces taux sont doublés pour la végétation située dans un rayon de 50 mètres autour d'une route principale, afin de tenir compte de l'effet de la pollution atmosphérique sur la capacité de purification de l'air de la végétation à proximité des grands axes routiers (Gallez et al., 2024a). Ces routes principales correspondent aux routes régionales de la base de données vectorielles UrbIS.

L'indicateur de régulation de température est calculé en attribuant également des poids selon le type de végétation. Pour les arbres et arbustes, le coefficient est de 1 et pour l'herbe, le coefficient est de 0,5 étant donné le faible pouvoir rafraîchissant de ce type de végétation. Ces poids sont également tirés du travail d'Elsa Gallez (2024a). Cet indicateur permet de mesurer le potentiel de rafraîchissement apporté par la végétation autour de l'école, via l'ombrage et l'évapotranspiration. La surface occupée par la végétation au sein du rayon de 300 mètres est multipliée par leur coefficient respectif, puis divisée par la superficie totale de chaque zone tampon afin d'obtenir des résultats comparables pour chaque école.

Finalement, le calcul de deux indicateurs de risques environnementaux est effectué, la pollution de l'air et le risque de chaleur.

La pollution de l'air est mesurée en calculant la valeur moyenne de PM_{10} (particules fines de diamètre inférieur à $10\mu m$) dans un rayon de 300 mètres autour des écoles. On obtient alors pour chaque école un indicateur de pollution de l'air en $\mu g/m^3/an$.

Concernant le risque de chaleur, celui-ci est obtenu en utilisant un jeu de données mesurant les différences de température entre le centre-ville et la campagne à 23h, pour tous les mois d'été entre 1987 et 2016. La moyenne de ces différences de température est ensuite calculée pour chaque école, toujours dans un rayon de 300 mètres autour de celle-ci.

Tous les indicateurs sont normalisés selon la méthode min-max afin de ramener les scores sur une échelle comparable de 0 à 1.

3.3.1 Construction du score de vulnérabilité environnementale

Afin d'identifier les écoles secondaires les plus prioritaires pour de futurs programmes de végétalisation, un score composite de vulnérabilité environnementale a été construit à partir de six des sept indicateurs environnementaux normalisés. Les indicateurs pour lesquels une valeur élevée traduit une situation favorable (végétation intérieure, canopée de rue, purification de l'air, régulation thermique) ont été inversés (1 - valeur normalisée), de sorte que l'ensemble des indicateurs utilisés pointent dans la même direction. Une valeur élevée signale alors une situation défavorable, comme le montraient déjà la pollution de l'air et le risque de chaleur. Le score final correspond à la moyenne de ces six indicateurs harmonisés.

L'indicateur du nombre d'espaces verts publics accessibles n'a pas été intégré au calcul de ce score. Contrairement aux six autres indicateurs, celui-ci ne prend que trois valeurs discrètes (0, 1 ou 2 espaces verts accessibles), ce qui lui confère, une fois normalisé, un poids disproportionné dans le calcul du score de vulnérabilité. Intégrer cet indicateur au score risquerait de masquer artificiellement une situation par ailleurs très défavorable sur l'ensemble des autres dimensions, dès lors qu'un seul espace vert accessible est recensé à proximité de l'école.

Ce score est ainsi calculé sur 76 écoles, les écoles internationales et les deux établissements d'enseignement en hôpital ayant été exclus car les leviers d'action y sont plus limités. Ces derniers ont néanmoins été conservés pour le calcul des indicateurs environnementaux, dans la mesure où il reste pertinent d'observer le contexte environnemental dans lequel évoluent ces élèves.

3.3.2 Variables socio-économiques des écoles

Afin d'étudier si un lien existe entre l'accès à la végétation et le statut socio-économique, les données socio-économiques agrégées au niveau des écoles sont utilisées.

Pour les écoles francophones, les données sont fournies par le service d'exploitation des données de la Fédération Wallonie-Bruxelles. Ces données sont disponibles uniquement pour les écoles de l'enseignement libre et officiel. Deux variables socio-économiques sont analysées : le revenu médian par ménage et la proportion d'étudiants provenant d'un ménage où le plus haut niveau d'éducation est CITE 1 ou 2. Le niveau CITE 1 correspond à l'enseignement primaire et le niveau CITE 2 à l'enseignement secondaire du premier cycle.

Pour les écoles néerlandophones, les deux variables utilisées proviennent du site *Dataloep* de la région flamande. Ces données sont publiquement accessibles. La première variable est le pourcentage de mères avec un faible niveau d'instruction (*Laag opleidingsniveau moeder*) et la seconde est le pourcentage d'élèves recevant une bourse/allocation scolaire (*Schooltoeslag*). Pour certaines écoles, et afin de protéger la vie privée, les données sont masquées car il y a moins de 5 élèves concernés au sein de l'établissement.

Étant donné la différence entre les données francophones et néerlandophones, chaque variable est normalisée avec la méthode min-max afin d'assurer une comparabilité des données (Tab. 3). Les variables francophones et néerlandophones sont normalisées séparément puis regroupées dans un tableau final. La normalisation est faite de telle sorte que 0 corresponde à un niveau de revenu et d'éducation bas et que 1 corresponde à un niveau élevé.

Tableau 3 : Explication des données socio-économique pour les écoles francophones et néerlandophones et leurs caractéristiques (valeurs après normalisation)

	Écoles francophones	Écoles néerlandophones	Test Mann-Whitney (p-valeur)
Niveaux de revenu	Moyenne des revenus médians par ménage en euro par unité de consommation	Pourcentage d'élèves recevant une bourse/allocation scolaire	0.2186
Médiane	0,244	0,183	
IQR	0,156	0,280	
Niveaux d'éducation	La proportion d'élèves issus de ménage où le plus haut diplôme appartient au CITE 1 ou 2	Pourcentage de mères ayant un faible niveau d'instruction	0.1582
Médiane	0,445	0,255	
IQR	0,270	0,340	

Quinze écoles n'ont pu être analysées qu'au regard des indicateurs environnementaux car le manque de données socio-économiques n'a pas pu permettre d'analyse plus poussée. Cela concerne certaines écoles publiques pour lesquelles les données n'étaient pas disponibles, les écoles internationales mais également les enseignements dans les hôpitaux.

Le jeu de données contenant les données socio-économiques et utilisé pour la suite de l'analyse comprend 67 établissements (54 écoles francophones et 13 écoles néerlandophones). Parmi eux, une école néerlandophone ne dispose que de la donnée d'éducation, sans donnée de revenu disponible. Celle-ci est donc incluse dans les analyses portant uniquement sur l'éducation mais exclue de celles combinant les deux variables. Cela explique que les modèles de régression combinant revenu et éducation (section 4.4.2) reposent sur 66 écoles et non 67.

Les résultats du test Mann-Whitney montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les données socio-économiques des écoles francophones et néerlandophones ($p\text{-val} > 0,05$). Les médianes diffèrent tout de même, suggérant que les écoles francophones ont un niveau de revenu et d'éducation légèrement plus élevés.

Cependant, avec 13 écoles néerlandophones, la puissance statistique est limitée. C'est probablement une des raisons pour lesquelles les tests n'atteignent pas la significativité malgré des médianes différentes.

Afin de déterminer si le statut socio-économique modifie l'identification des écoles prioritaires, un second score de vulnérabilité est calculé selon la même méthode que le score environnemental. Le niveau de revenu et le niveau d'éducation sont chacun inversés (1 - valeur normalisée), de sorte qu'une valeur élevée corresponde, comme pour les indicateurs environnementaux, à une situation défavorable. Ce second score correspond ainsi à la moyenne des huit indicateurs harmonisés. Ce score complet ne peut être calculé que pour les 66 écoles disposant également de données socio-économiques.

3.3.3 Analyses statistiques

Des analyses statistiques sont réalisées sur les résultats obtenus. D'abord uniquement sur les indicateurs environnementaux puis en y ajoutant les données socio-économiques. L'objectif est de vérifier s'il existe une relation significative entre les indicateurs environnementaux et le profil socio-économique des écoles. L'ensemble de ces analyses est réalisé avec le logiciel RStudio, à l'exception des boxplots réalisés avec ArcGIS.

La première étape consiste à observer si les valeurs des indicateurs environnementaux diffèrent significativement selon le type d'école (officiel, libre et privé). Pour cela, des boxplots sont réalisés pour illustrer la distribution, les médianes et la dispersion des indicateurs environnementaux pour chaque sous-groupe d'écoles. En raison du très faible effectif d'écoles privées ($n = 4$), celles-ci sont exclues des tests statistiques suivants. Ceux-ci s'intéressent à la comparaison entre le réseau officiel ($n = 32$) et le réseau libre ($n = 46$). Étant donné la

distribution non normale des valeurs, le test non paramétrique de Mann-Whitney U est appliqué à chacun des six indicateurs afin de vérifier l'existence de différences statistiquement significatives entre ces deux réseaux. Ce test compare les distributions de deux groupes indépendants sans supposer de normalité. La taille d'effet, mesurant l'ampleur de la différence, est évaluée en calculant un r de corrélation biserial de rang à l'aide du package *Rstatix*.

Ensuite, des analyses bivariées puis multivariées sont menées afin d'examiner les associations entre variables environnementales et socio-économiques.

L'analyse bivariée permet de se rendre compte des corrélations existantes entre chacune des variables. Pour cela, une matrice de corrélation de Spearman est réalisée à des fins descriptives et exploratoires (package *Hmisc*). Ensuite, la significativité de chaque corrélation entre indicateur environnemental et variable socio-économique est recalculée à l'aide d'un test t modifié. Ce test corrige la p -valeur en ajustant le nombre de degrés de liberté du test en un nombre effectif d'observations tenant compte de l'autocorrélation spatiale présente dans les variables testées (voir annexe C, résultats du I de Moran sur les variables brutes) (Gallez et al., 2024a). Ce test est calculé à l'aide de la fonction *modified.ttest* du package *SpatialPack*. En effet, deux écoles proches géographiquement partagent un environnement similaire (climat local, densité du bâti), ce qui peut artificiellement gonfler la significativité d'un lien statistique sans refléter une véritable indépendance des observations.

L'analyse multivariée vise ensuite à estimer les relations entre chaque variable environnementale (variable dépendante) et les variables socio-économiques (variables indépendantes).

Ce modèle de régression permet d'évaluer l'hétéroscédasticité (test de Breusch-Pagan, package *lmtest*) ainsi que la normalité des résidus (test de Shapiro-Wilk) et la multicollinéarité (facteur d'inflation de la variance VIF). L'indice de Moran est également calculé sur les variables brutes (Annexe D) à l'aide du package *spdep* ainsi que sur les résidus du modèle OLS, afin de vérifier la présence d'autocorrélation spatiale.

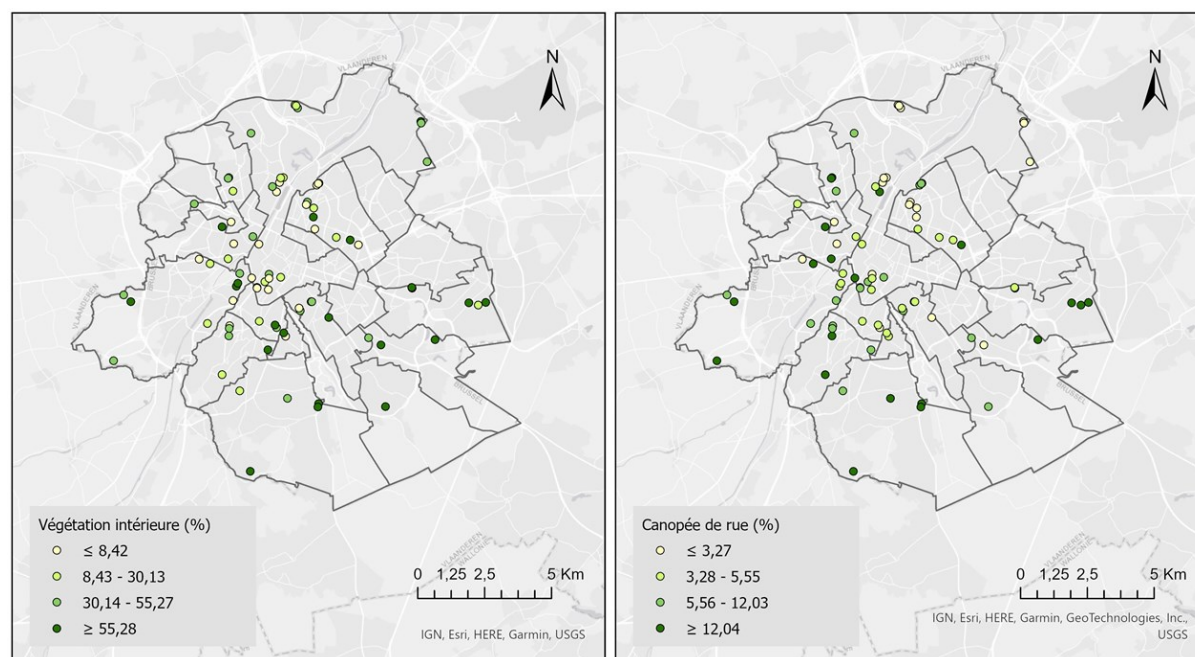
Étant donné la présence d'autocorrélation spatiale, des modèles autorégressifs spatiaux sont mobilisés (SAR). Afin de définir le modèle spatial le plus adapté, les tests du multiplicateur de Lagrange (LM tests) sont mobilisés en utilisant le package *spdep*. Ces modèles estiment dans quelle mesure un indicateur environnemental est expliqué par le profil socio-économique de l'école, une fois la dépendance spatiale prise en compte. Deux formes sont possibles : le modèle à décalage spatial (SLAG), qui intègre la dépendance spatiale dans la variable expliquée et le modèle à erreur spatiale (SEM), qui l'intègre dans le terme d'erreur. Lorsque les test LM-lag et LM-error sont tous deux significatifs, ce sont leurs versions robustes qui orientent le choix du modèle final. Le modèle correspondant au test robuste le plus significatif est retenu et estimé à l'aide du package *spatialreg* (Annexe E). Cette procédure est appliquée séparément à chaque indicateur environnemental, expliquant la différence de modèle choisi

en fonction des indicateurs. Les modèles spatiaux reposent sur une matrice de poids spatiaux construite à partir des k plus proches voisins ($k = 3$) (Hafner, 2025). Le code est disponible en annexe G.

4 Résultats

4.1 Indicateurs environnementaux

Les cartes (Fig. 8, 9, 10 et 11) affichent les motifs spatiaux des indicateurs environnementaux pour chaque école étudiée. Celles-ci sont générées en utilisant la méthode des quantiles (qui attribue le même nombre de caractéristiques à chaque classe) afin de correspondre aux cartes générées par l'étude sur les écoles primaires (Gallez, 2024a) et assurer la comparabilité des résultats.



Cette méthode de classification permet de voir que 25% des écoles ont moins de 8,5% de végétation à l'intérieur de leur cour de récréation. Ces écoles sont majoritairement localisées dans le centre du Bruxelles, les écoles en périphérie affichant un taux de végétation plus élevé. Les valeurs obtenues vont de 0% à 95,54%. Parmi les deux écoles sans végétation, l'une d'entre elles n'a pas de cour d'école. La moitié des écoles ont un taux de végétation inférieur à 30% (n = 41).

Concernant la canopée de rue, les valeurs obtenues vont de 0,88% à 60,27%. Avec une médiane à 5,54%, la canopée de rue est peu importante et ce où que se situe l'établissement scolaire. Le nord de Bruxelles montre tout de même des valeurs plus faibles de canopée de rue et les écoles dont les rues voisines sont les moins arborées sont situées dans les communes de Bruxelles et Schaerbeek. A l'inverse, les communes affichant les meilleurs taux de canopée de rue sont situées à Uccle.

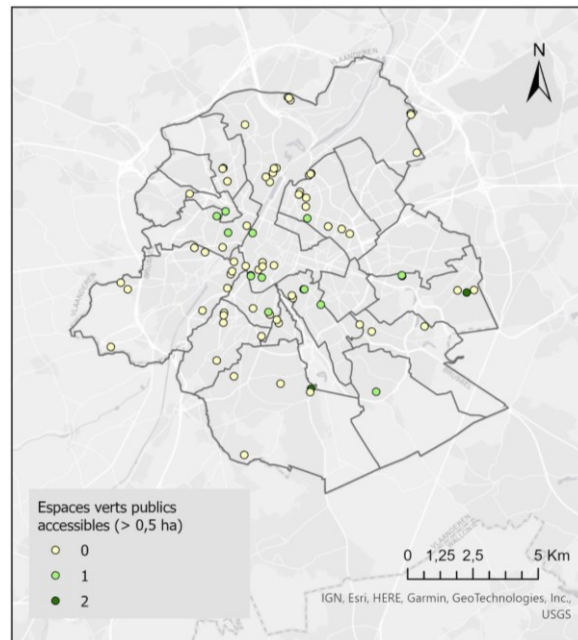


Figure 9 : Distribution spatiale de l'accès à un espace vert public par école

Concernant l'accès à un espace vert public, seules 13 écoles sur les 82 étudiées disposent d'un accès à un parc public de plus de 0.5 hectare à moins de 300 mètres de leur entrée. Étant donné que toutes les écoles analysées sont situées en zone de carence en espaces verts publics, on aurait pu s'attendre à ce qu'aucune ne dispose d'un tel accès. Cette contradiction s'explique par une différence de seuil de distance entre les deux analyses : Bruxelles Environnement définit une zone de carence par l'absence d'espace vert accessible à moins de 200 mètres, alors que ce travail retient un seuil de 300 mètres.

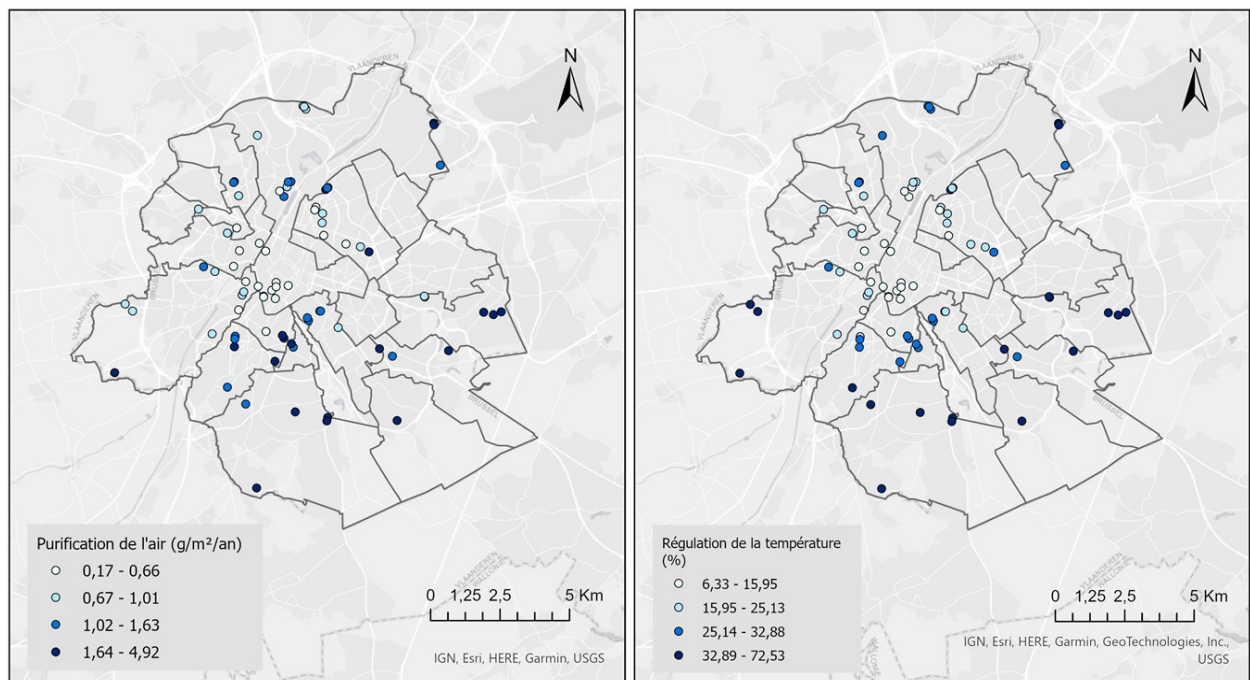


Figure 10 : Distribution spatiale des services écosystémiques de régulation ; la purification de l'air (gauche) et la régulation de la température (droite)

Les indicateurs de régulation, à savoir régulation de la température et purification de l'air, affichent un motif spatial similaire avec un gradient centre-périphérie marqué. Cette structure similaire est cohérente étant donné que les deux indicateurs dépendent directement de la présence et de la densité de végétation autour de l'école.

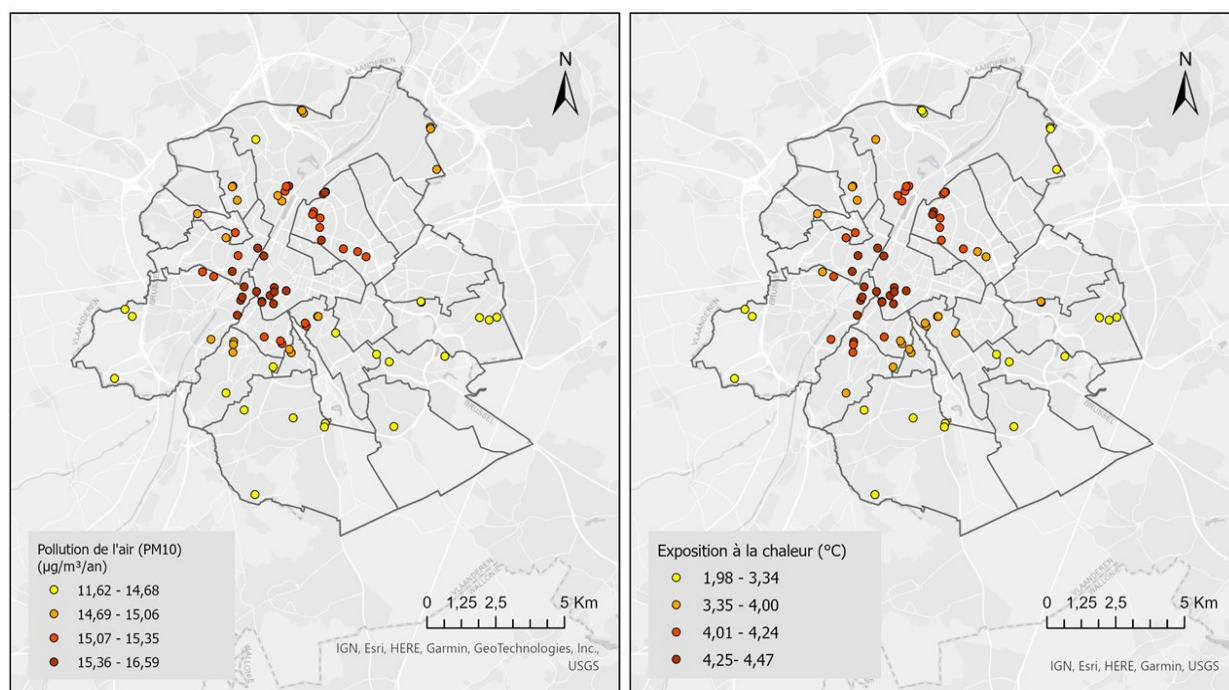


Figure 11 : Distribution spatiale des risques environnementaux par école ; la pollution de l'air (gauche) et l'exposition à la chaleur (droite)

Les indicateurs de danger environnemental ont également un patron semblable. Les écoles en périphérie de Bruxelles affichent les valeurs les plus basses, particulièrement les établissements au sud et à l'est de la région. Les établissements centraux sont les plus touchés par la pollution et la chaleur.

En résumé, le motif concentrique suivi par la végétation à Bruxelles s'observe également sur les indicateurs environnementaux.

4.2 Indicateurs environnementaux selon le type d'enseignement

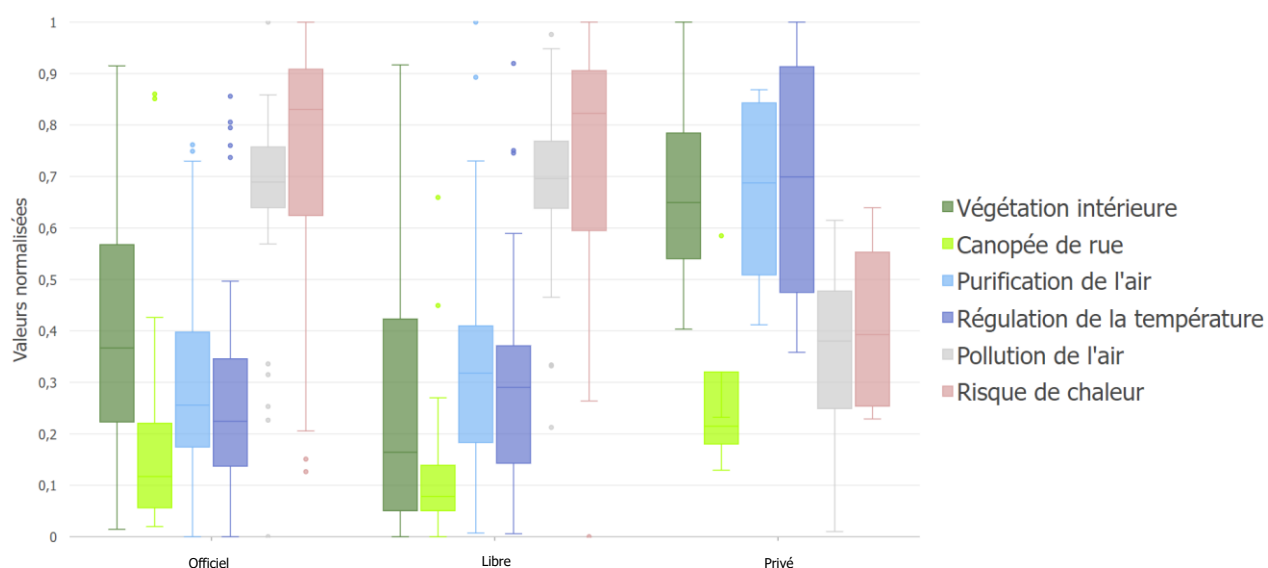


Figure 12 : Boxplots des indicateurs environnementaux normalisés et regroupés par réseau d'enseignement

Visuellement, le graphique montre peu de différences notables entre les écoles libres et publiques. Le seul indicateur visuellement différent est la végétation intérieure, plus présente et plus élevée dans les établissements officiels (médiane = 0,37) que dans les établissements libres (médiane = 0,16). Les médianes et écarts types sont disponibles en annexe A. Par ailleurs, les écoles privées montrent de meilleurs résultats pour chacun des indicateurs.

Tableau 4 : Résultats du test de Mann-Whitney U comparant le réseau officiel ($n = 32$) et libre ($n = 46$).
Taille d'effet r calculée par corrélation biserial de rang (seuils indicatifs : 0,10 = faible, 0,30 = modéré, 0,50 = fort)

	Mann-Whitney (p-valeur)	Taille d'effet r
Végétation intérieure	0,003	0,336
Canopée de rue	0,129	0,173
Purification de l'air	0,764	0,035
Régulation de la température	0,764	0,035
Pollution de l'air	0,688	0,046
Risque de chaleur	0,673	0,048

Les tests statistiques réalisés (test de Mann-Whitney U) comparent les réseaux officiel et libre sur chacun des six indicateurs environnementaux (Tab. 4). Suite à ce test, seule la végétation intérieure affiche une différence statistiquement significative entre le réseau libre et officiel ($p = 0,003$), avec une taille d'effet modérée ($r = 0,336$). Ce résultat confirme ce qui avait déjà été observé visuellement sur les boxplots (Fig. 12)

Les cinq autres indicateurs ne présentent pas de différence significative entre officiel et libre. Les indicateurs de purification de l'air et de régulation de la température obtiennent une p-valeur et une taille d'effet identiques ($p = 0,764$; $r = 0,035$).

4.3 Identification des écoles les plus vulnérables

En combinant les résultats obtenus ci-dessus, un classement des écoles les plus défavorisées en termes d'accès à la végétation et d'exposition aux risques environnementaux peut être effectué. Les écoles privées et l'enseignement en hôpital ont été omis de ce calcul car les leviers d'action sont moindres pour ces établissements-là. Après suppression de ces écoles, le score de vulnérabilité environnementale a été calculé sur 76 écoles (Fig. 13).

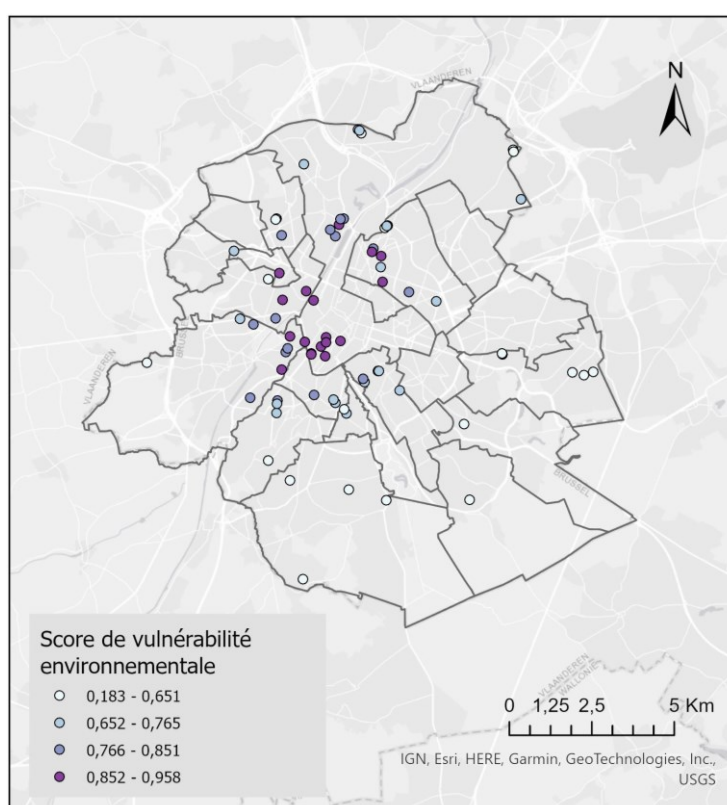


Figure 13 : Répartition spatiale du score de vulnérabilité environnementale calculé pour les écoles secondaires ($n = 76$)

La répartition spatiale du score de vulnérabilité environnementale (Fig. 13) reproduit le motif concentrique centre-périphérie déjà observé pour chacun des indicateurs pris séparément. Les scores les plus élevés se concentrent dans le Pentagone et les communes limitrophes du canal, tandis que les écoles de seconde couronne, notamment au sud de la Région, affichent des scores nettement plus faibles.

La répartition de ce score environnemental ne suit pas une distribution normale (Fig. 14). La majorité des écoles se concentre dans la moitié supérieure de l'échelle, avec un score supérieur à 0,55 ($n = 67$). A l'opposé, quelques écoles se distinguent par un score faible,

inférieur 0,40 (n = 6). La médiane élevée confirme que la majorité des écoles se trouve dans une situation environnementale défavorable.

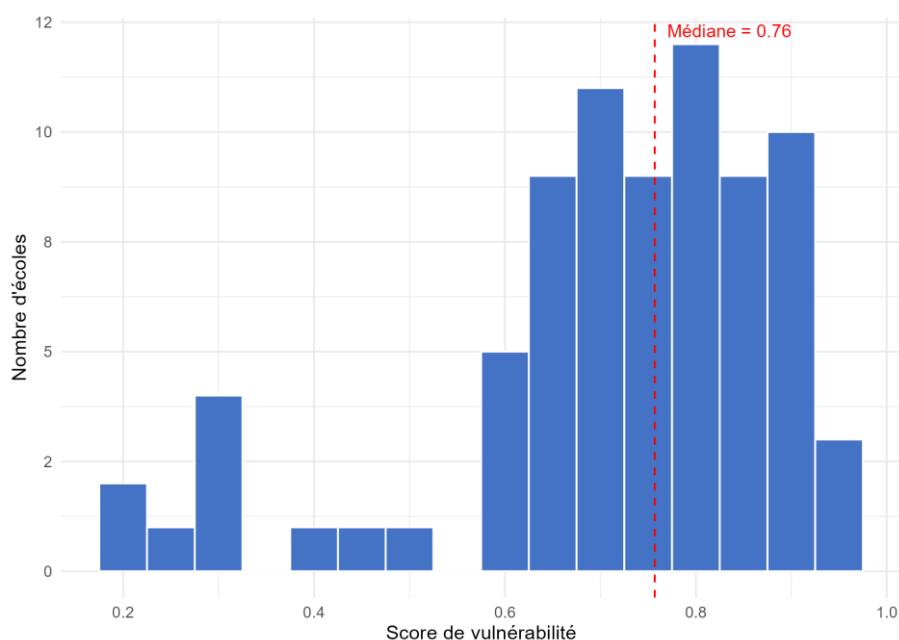


Figure 14 : Histogramme de la distribution du score de vulnérabilité environnementale

Les dix écoles pour lesquelles ce score est le plus élevé sont listées en annexe B. Ces écoles sont majoritairement situées à Bruxelles-ville (six écoles sur dix) et à Anderlecht (deux écoles), confirmant le motif concentrique centre-périphérie déjà observé pour les indicateurs pris séparément (section 4.1). Sept de ces dix écoles relèvent du réseau libre et quatre du réseau officiel. Parmi ces dix écoles prioritaires, huit ne disposent par ailleurs d'aucun espace vert public accessible à moins de 300 mètres de leur entrée.

L'école en première position de ce classement est Imelda Instituut. Cette école est située dans le centre de Bruxelles, entre le canal et la place Sainte-Catherine. Elle obtient le score de vulnérabilité le plus élevé : elle cumule une couverture végétale intérieure quasi nulle (< 0,1 %), une canopée de rue, une purification de l'air et une régulation thermique parmi les plus faibles de l'échantillon, ainsi qu'une exposition très élevée à la pollution de l'air et au risque de chaleur.

La seconde école de ce classement est Sint-Jan Berchmanscollege. Cette école ne dispose d'aucune végétation intérieure et affiche une canopée de rue de 3,32%.

L'école qui clôt le podium est l'Institut Diderot. Comme les deux écoles précédentes, elle cumule un déficit sévère de végétation (végétation intérieure de 1,39% et canopée de rue de 5,38%) et une exposition élevée aux risques environnementaux.

Ces trois écoles sont situées dans des zones d'îlot de chaleur urbain (Fig. 4).

4.4 Relation entre la qualité environnementale des écoles et le statut socio-économique

Pour cette partie de l'analyse, l'échantillon est restreint aux 66 écoles disposant de données socio-économiques complètes. La répartition spatiale des niveaux de revenu et d'éducation fait apparaître deux observations principales (Fig. 15).

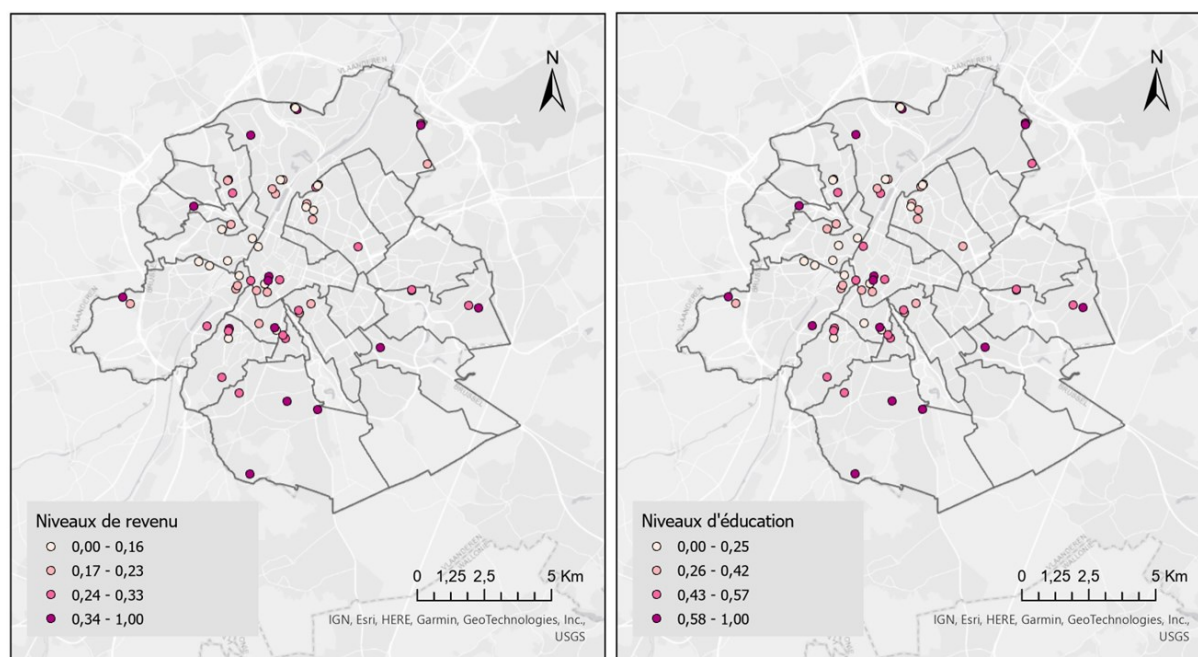


Figure 15 : Distribution spatiale des variables socio-économiques ; les niveaux de revenu (à gauche) et les niveaux d'éducation (à droite)

Premièrement, les écoles fréquentées par des élèves aux plus hauts niveaux de revenus et dont les parents ont atteint un niveau d'éducation plus élevé sont réparties de façon assez homogène sur l'ensemble du territoire. Même si elles sont majoritaires en périphérie, on en retrouve tout de même dans le centre de Bruxelles.

Deuxièmement, les écoles dont les niveaux de revenu et d'éducation sont les plus faibles sont, elles, situées dans la partie centrale et nord-est de la région.

De plus, ces deux cartes présentent des motifs très similaires. Les écoles à revenu élevé sont presque systématiquement aussi celles où le niveau d'éducation des parents est le plus élevé.

4.4.1 Analyses bivariées

La matrice de corrélation de Spearman (Fig. 16) révèle des associations entre plusieurs indicateurs environnementaux et le niveau de revenu. Le revenu apparaît comme corrélé à la purification de l'air ($\rho = 0,35$), à la régulation thermique ($\rho = 0,39$) et, dans le sens inverse, à la pollution de l'air ($\rho = -0,51$) et au risque de chaleur ($\rho = -0,45$). Le niveau d'éducation suit des tendances similaires mais globalement plus faibles. Le niveau de revenu est par ailleurs fortement corrélé au niveau d'éducation ($\rho = 0,90$).

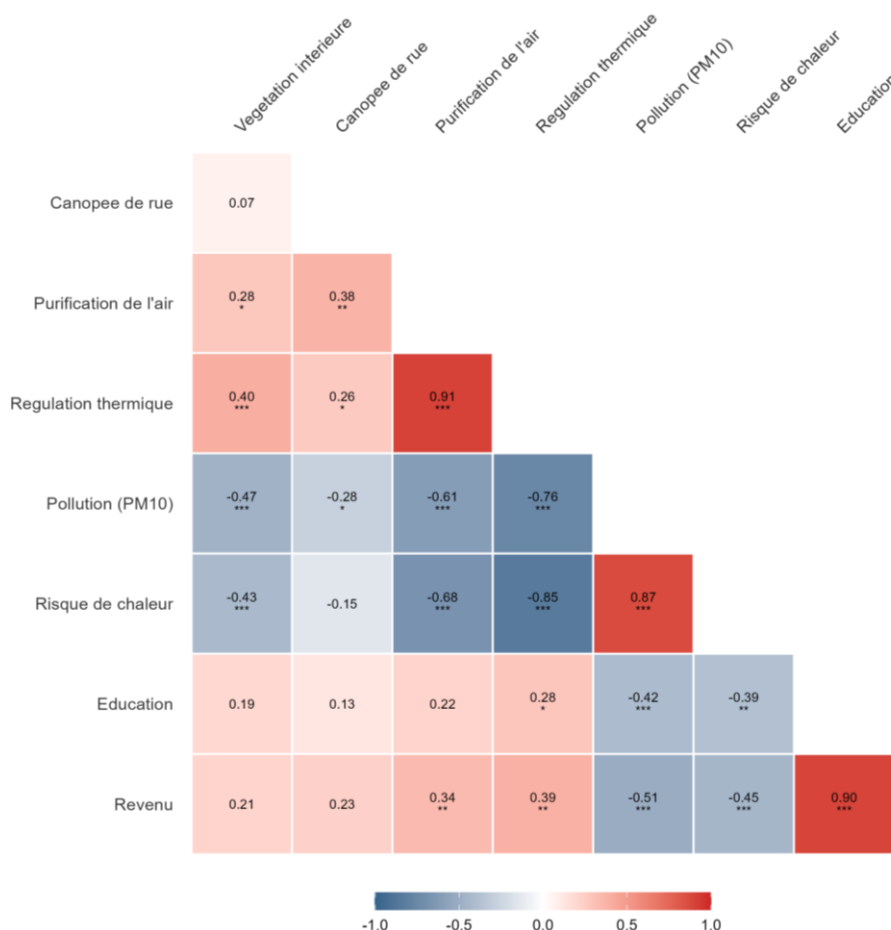


Figure 16 : Matrice de corrélation de Spearman. Note : * p -valeur < 0.05 ; ** p -valeur < 0.01 ; *** p -valeur < 0.001

Afin de vérifier si les corrélations observées ci-dessus ne sont pas artificiellement gonflées par une dépendance spatiale entre écoles voisines, l'indice de Moran est calculé sur chacune des variables brutes (Annexe C).

Seule la végétation intérieure ne présente pas d'autocorrélation spatiale significative ($I = 0,03$; $p = 0,309$). Les six autres variables environnementales ainsi que le revenu et l'éducation en présentent une. La significativité des corrélations entre variables socio-économiques et indicateurs environnementaux est donc recalculée à l'aide d'un test t modifié pour tenir compte de cette dépendance spatiale.

Suite à cette correction, quatre des douze corrélations testées ressortent significatives (Fig. 17). Le revenu et la canopée de rue ($\rho = 0,23$), le revenu et la purification de l'air ($\rho = 0,35$) affichent une corrélation positive. Le revenu et la pollution de l'air ($\rho = -0,51$), et l'éducation et la pollution de l'air ($\rho = -0,42$) affichent elles des relations négatives. Cependant, la corrélation entre le revenu et la canopée de rue est à interpréter avec prudence. Le nombre d'observations effectives estimé par le test ($n \approx 84$) excède le nombre d'écoles réellement échantillonnées ($n = 66$). Ce résultat limite l'interprétation directe de cette correction spatiale. Les corrélations impliquant la régulation thermique et le risque de chaleur ne franchissent plus le seuil de significativité. Les résultats détaillés sont en annexe D.

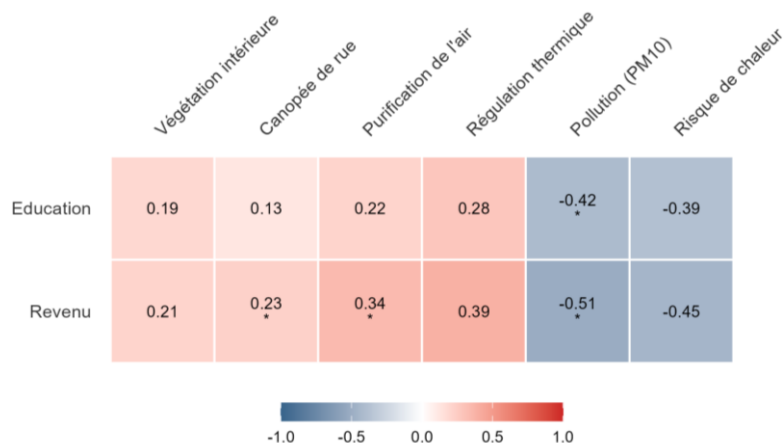


Figure 17 : Corrélations de Spearman entre les indicateurs environnementaux et les variables socio-économiques ($n = 66$ pour le revenu, $n = 67$ pour l'éducation). P-valeur après correction par un test t modifié. Note : *p-valeur < 0.05; **p-valeur < 0.01; ***p-valeur < 0.001

4.4.2 Analyses multivariées

Suite aux analyses exploratoires, les régressions linéaires sont effectuées. Dans un premier temps, le modèle OLS sert à détecter la présence d'hétéroscédasticité et la normalité des résidus. L'autocorrélation spatiale est également testée sur les résidus en calculant l'indice de Moran.

Tout comme sur les données brutes (annexe C), seule la variable « végétation intérieure » ne présente pas d'autocorrélation spatiale (annexe E). Pour cet indicateur, le modèle OLS est conservé. Pour les autres indicateurs, de l'autocorrélation spatiale est détectée. Les tests du multiplicateur de Lagrange permettent de décider du modèle spatial le plus approprié car, selon chaque variable, le modèle idéal n'est pas le même. Les résultats du modèles OLS et du modèle choisi pour chaque variable sont présentés côte à côte en annexe E, de même que les diagnostics justifiant le choix de modèle.

Tableau 5 : Résultats des régressions linéaires pour chaque indicateur environnemental selon le modèle le plus approprié (modèle revenu + éducation, n = 66 écoles). Note : *p-valeur < 0.05; **p-valeur < 0.01; ***p-valeur < 0.001

	Végétation intérieure	Canopée de rue	EVP	Purification de l'air	Régulation de la température	PM10	Risque de chaleur
Modèle choisi	OLS	SLAG	SEM	SEM	SLAG	SLAG	SLAG
Intercept	0,245	0,085	0,025	0,327	0,057	0,156	0,144
p_intercept	2,32E-04	0,081	0,808	5,92E-08	0,120	1,57E-06	2,38E-05
Revenu	0,252	0,462*	-0,001	0,428**	0,342*	-0,182*	-0,081
p_revenu	0,370	0,021	0,998	5,81E-03	0,013	0,024	0,525
Education	-0,004	-0,254	0,246	-0,221	-0,124	0,020	-0,128
p_education	0,989	0,166	0,502	0,103	0,323	0,781	0,27
R ²	0,054	0,231	0,106	0,571	0,689	0,812	0,833
Coefficient spatial		0,376	0,269	0,641	0,727	0,81	0,854
Log-likelihood	-0,7	18,5	-27,7	30,1	38	70,4	38,2

Le coefficient spatial correspond, selon le modèle retenu, au paramètre ρ (SLAG), qui mesure l'influence de la valeur moyenne des écoles voisines sur la valeur prédite de l'école considérée, ou au paramètre λ (SEM), qui mesure l'autocorrélation spatiale présente dans le terme d'erreur une fois les variables explicatives prises en compte. Le log-likelihood (log-vraisemblance) reflète la qualité d'ajustement du modèle aux données observées. (AIC et comparaison log vraisemblance en annexe E)

Le revenu ressort comme significatif pour quatre des sept indicateurs environnementaux (Tab 5.). Une relation positive avec la canopée de rue, la purification de l'air et la régulation thermique et une relation négative avec la pollution de l'air. Ce résultat contraste avec l'analyse bivariée, où la corrélation entre le revenu et la régulation thermique ne restait pas significative après correction spatiale simple, bien que la p-valeur en reste proche du seuil ($p = 0,072$). L'éducation, quant à elle, n'atteint la significativité pour aucun indicateur. La végétation intérieure, les espaces verts publics et le risque de chaleur ne montrent pas de lien significatif avec les variables socio-économiques dans ce modèle.

Étant donné la forte corrélation entre le revenu et l'éducation, le facteur d'inflation de la variance (VIF) est vérifié pour chaque modèle combiné. Il s'élève à 4,55 pour les deux variables, sous le seuil de 5 généralement retenu comme conservateur et bien en dessous du seuil critique de 10. La colinéarité entre les deux prédicteurs reste donc dans une plage acceptable et ne remet pas en cause la validité de ces modèles combinés.

L'éducation n'apparaissant jamais comme significative dans les régressions effectuées (Tab. 5), de nouveaux modèles sont calculés entre chaque variable environnemental et le revenu (Tab. 6).

Tableau 6 : Résultats des régressions linéaires pour chaque indicateur environnemental selon le modèle le plus approprié (modèle revenu, n = 66 écoles). Note : *p-valeur < 0.05; **p-valeur < 0.01; ***p-valeur < 0.001

	Végétation intérieure	Canopée de rue	EVP	Purification de l'air	Régulation de la température	PM10	Risque de chaleur
Modèle choisi	OLS	SLAG	SEM	SLAG	SLAG	SLAG	SLAG
Intercept	0,245	0,048	0,062	0,068	0,039	0,159	0,126
p_intercept	6,25E-06	0,236	0,475	0,068	0,210	2,89E-07	1,99E-05
Revenu	0,249	0,217*	0,239	0,213**	0,224***	-0,162***	-0,204***
p_revenu	0,060	0,023	0,230	5,25E-03	6,27E-04	2,18E-05	7,34E-04
R ²	0,054	0,209	0,099	0,551	0,684	0,812	0,831
Coefficient spatial		0,371	0,256	0,634	0,724	0,811	0,853
Log-likelihood	-0,7	17,6	-27,9	29,2	37,5	70,4	37,6

Ces nouveaux modèles confirment et renforcent les résultats précédents : le revenu devient significatif pour l'ensemble des indicateurs à l'exception de la végétation intérieure et des espaces verts publics. L'effet le plus marquant concerne le risque de chaleur, qui n'apparaissait pas significatif lorsque l'éducation était incluse dans le modèle.

4.4.3 Score de vulnérabilité intégrant les données socio-économiques

Finalement, un second score de vulnérabilité est calculé en y intégrant cette fois-ci les données socio-économiques (Fig 18). L'objectif est d'identifier si l'ajout du profil socio-économiques des élèves change fortement le classement des écoles les plus vulnérables.

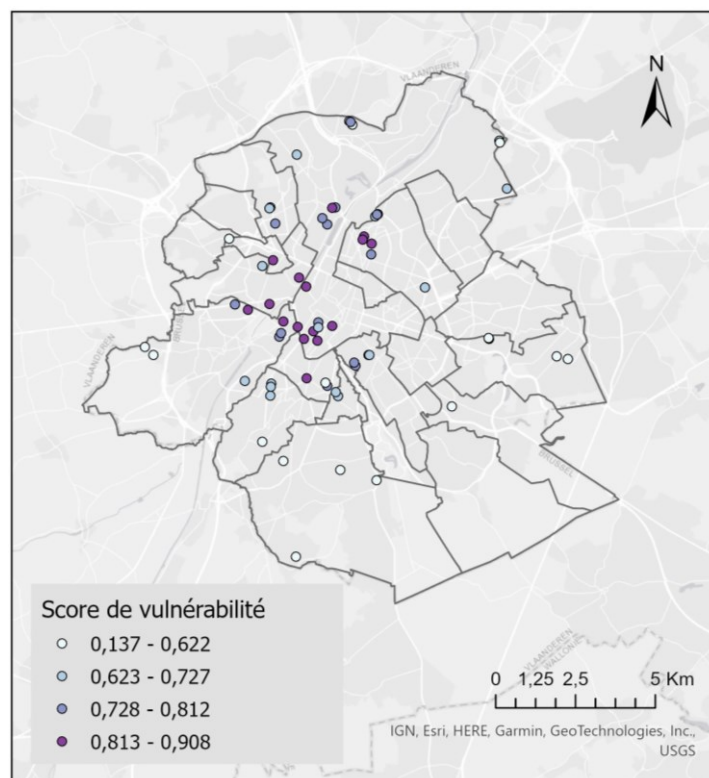


Figure 18 : Répartition spatiale du score de vulnérabilité combinant les indicateurs environnementaux et socio-économiques calculé pour les écoles secondaires (n = 66)

La répartition de ce score est similaire à celle du score sans les données socio-économiques (Fig. 14). Les écoles considérées comme les plus vulnérables se situent dans le centre et le nord de la région tandis que les écoles les moins vulnérables sont en périphérie.

Le classement obtenu est par ailleurs fortement corrélé au classement environnemental seul (ρ de Spearman = 0,90) et Imelda Instituut demeure l'école la plus vulnérable dans les deux classements. La répartition du score combiné (Fig. 19) est proche de celle du score environnemental seul (Fig. 14). La majorité des écoles ont un score supérieur à 0,5 (n = 59) et un petit groupe d'écoles se détache avec un score inférieur. La médiane est de 0,73, un résultat proche de celle du score environnemental seul (0,76).

Cependant, plusieurs écoles changent nettement de position d'un classement à l'autre. Les dix écoles pour lesquelles le score est le plus élevé sont présentées en annexe F.

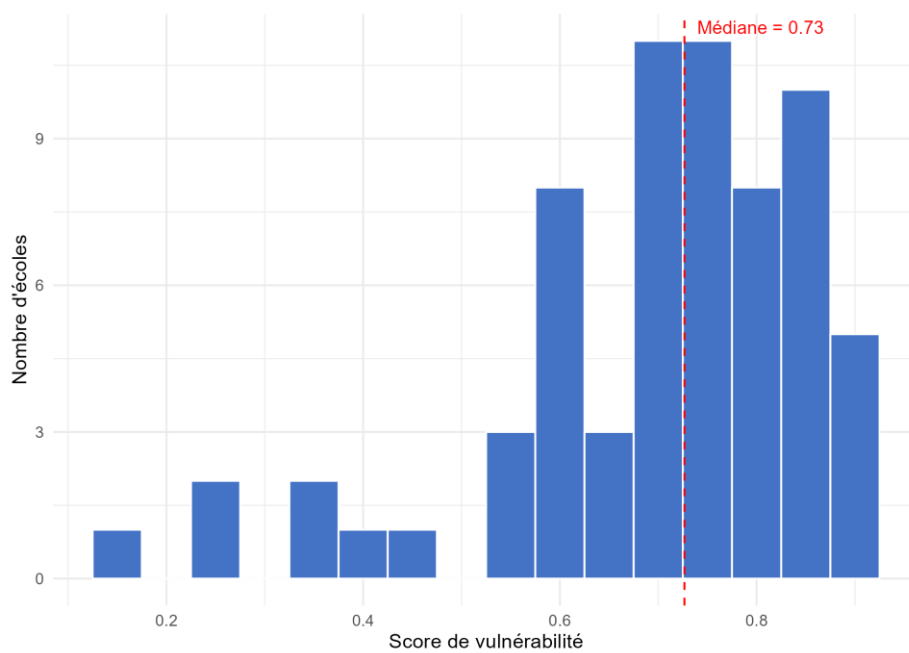


Figure 19 : Histogramme de la distribution du score de vulnérabilité combinant les indicateurs environnementaux et socio-économiques

5 Discussion

Les résultats obtenus permettent de confirmer les hypothèses de départ. Le motif spatial concentrique centre-périphérie, déjà documenté pour les écoles primaires bruxelloises (Gallez et al., 2024a), se retrouve dans les résultats des indicateurs environnementaux calculés sur les écoles secondaires, confirmant ainsi la première hypothèse de travail. La seconde hypothèse selon laquelle les écoles secondaires cumulant les plus mauvais indicateurs environnementaux sont aussi celles qui accueillent les populations les plus défavorisées, est également confirmée. Les régressions spatiales montrent un lien significatif entre le revenu des ménages et quatre des sept indicateurs environnementaux étudiés. Le score de vulnérabilité intégrant les données socio-économiques est fortement corrélé au score environnemental seul.

5.1 Disponibilité de la végétation dans et autour des écoles secondaires

L'objectif est d'avoir un minimum de 30% de végétation au sein des cours d'écoles (toute végétation comprise). Avec la moitié des écoles sous cet objectif (n = 41 sur 82), cette étude montre que le travail à fournir pour végétaliser les écoles est encore important. On peut également noter que certaines écoles d'enseignement technique ou spécialisé n'ont même pas d'extérieur. Pour ces établissements et les élèves les fréquentant, la qualité de l'environnement extérieur à l'école (canopée de rue et espaces verts publics de proximité) devient d'autant plus importante car elle constitue leur seul point de contact possible avec la nature en dehors du domicile.

La comparaison avec les résultats obtenus pour les écoles primaires (Gallez et al., 2024a) apporte certaines informations complémentaires. Le découpage en quantiles indique que 25% des écoles secondaires ont moins de 8,43% de couvert végétal intérieur. Pour les écoles primaires, le seuil du premier quantile est à 16%, soit un seuil presque deux fois plus élevé. Par ailleurs, les bornes médianes et supérieures restent proches (30,13 % contre 32 % pour la borne médiane ; 55,28 % contre 53 % pour le seuil du dernier quart). Ce n'est donc pas l'ensemble des écoles secondaires qui apparaît globalement moins végétalisé que les écoles primaires, mais bien le quart le plus défavorisé.

Ensuite, la canopée de rue autour des écoles n'atteint 30% que pour cinq écoles, avec une médiane de seulement 5,54 %. L'objectif de 30% de canopée de rue dans les quartiers, conformément à l'objectif 3-30-300 (Konijnendijk, 2023), est loin d'être atteint. Ce résultat rejoint celui de Bertassello et al. (2026), qui identifient précisément le critère de canopée de quartier comme le moins respecté des trois piliers de la règle à l'échelle européenne. Contrairement à la végétation intérieure des cours, sur laquelle chaque école peut agir individuellement, la canopée de rue dépend de choix d'aménagement public (plantations, désimperméabilisation de voirie). Elle constitue donc un levier d'action distinct mais dont les bénéfices profiteraient à l'ensemble des résidents et pas seulement aux élèves.

Concernant les espaces verts publics accessibles, seules 13 écoles sur 82 en ont un à moins de 300 mètres. Cependant, certaines écoles n'ayant pas d'accès à moins de 300 mètres de leur entrée en ont tout de même un à proximité. C'est le cas notamment de l'école Decroly-Hamoir à Uccle, située à 500 mètres du bois de la Cambre. D'autres écoles ont un espace végétalisé accessible mais celui-ci ne respecte pas les critères concernant la part de sol perméable (30%) et le taux de couverture végétale (30%) et ne peut dès lors pas être considéré comme « espace vert ».

Étant donné que toutes les écoles étudiées sont situées en zone de carence en espaces verts accessibles au public, on peut affirmer qu'aucune école ne dispose d'un espace vert public de plus de 1 hectare à moins de 200 mètres de son entrée, conformément aux critères établis par Bruxelles Environnement (2026).

5.2 Services écosystémiques de régulation et exposition aux risques environnementaux

Les indicateurs de régulation thermique et de purification de l'air affichent un motif spatial proche de celui de la couverture végétale de la région. Les écoles du centre-ville, déjà identifiées comme les moins végétalisées, sont logiquement celles qui bénéficient le moins de ces services de régulation, tout en étant les plus exposées aux deux risques environnementaux mesurés (pollution de l'air et risque de chaleur). Ce cumul de désavantages sur un même sous-ensemble d'écoles est précisément ce que le score de vulnérabilité mesure.

La comparaison avec les écoles primaires ne fait apparaître aucune différence notable pour les deux indicateurs de régulation. Il en est de même pour l'exposition à la chaleur, qui affiche des valeurs proches, pratiquement identiques (entre 1,98°C et 4,47°C pour les secondaires et entre 1,90°C et 4,48°C pour les primaires (Gallez et al., 2024a) car les données utilisées sont les mêmes.

Par contre, les valeurs obtenues pour la pollution de l'air sont, elles, notablement différentes. En effet, la valeur maximale (16,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$) est bien en dessous de la valeur maximale obtenue par Gallez et al. (2024a) pour les écoles primaires (18,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$). Cette différence peut s'expliquer par la diminution de la pollution de l'air à Bruxelles depuis plusieurs années. Les données utilisées pour les primaires concernent l'année 2020 tandis que les données de cette étude sont celles de 2024.

La qualité de l'air bruxelloise suit en effet une trajectoire positive, avec des moyennes annuelles diminuant d'année en année (IRCEL-CELINE, nd-a). Cette diminution est particulièrement visible à la station de mesure de Neder-Over-Heembeek, où la concentration moyenne annuelle de PM_{10} est passée de 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2020 à 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2024 (IRCEL-CELINE, nd-b).

Pour cette année-là, la valeur limite de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne annuelle) a été respectée dans l'ensemble des stations de mesure. La valeur de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, recommandée par l'OMS, fut

également respectée dans la capitale, à l'exception de la station de Molenbeek-Saint-Jean où la moyenne était de $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bruxelles Environnement, 2025d).

Cette moyenne annuelle et l'interpolation dans son voisinage nous donne tout de même 25% des écoles au-dessus de 15,36 soit au-dessus du seuil recommandé. Cela montre que malgré les baisses visibles, des efforts sont toujours à fournir pour passer de façon pérenne sous ce seuil.

5.3 Différences selon le réseau d'enseignement

La comparaison entre réseaux officiel et libre montre peu de différences. Sur les six indicateurs environnementaux testés, seule la végétation intérieure des cours diffère significativement entre les deux réseaux ($p = 0,003$; $r = 0,336$). Les écoles publiques affichent une médiane de couverture végétale plus de deux fois supérieure à celle des écoles libres (0,37 contre 0,16). Les cinq autres indicateurs ne montrent aucune différence significative selon le réseau. À l'inverse, la purification de l'air et la régulation thermique affichent même des résultats identiques. Cela s'explique car le test de Mann-Whitney U repose sur le classement des observations plutôt que sur leurs valeurs brutes. Un résultat identique entre deux variables signifie simplement qu'elles ordonnent les écoles dans un ordre quasiment identique. Ce constat est cohérent avec le fait que ces deux indicateurs dérivent tous deux de la même couche de végétation (voir 3.3.1).

La végétation intérieure, elle, dépend de caractéristiques propres à chaque établissement (surface de la cour, choix d'aménagement, marge de manœuvre du pouvoir organisateur) et peut donc varier fortement d'une école à l'autre. Les cinq autres indicateurs sont calculés dans un rayon de 300 mètres autour de l'école et dépendent avant tout de la localisation de l'établissement, indépendamment du réseau d'enseignement.

Le résultat est cohérent avec le classement des écoles les plus vulnérables (section 5.5.1), où six des dix écoles prioritaires relèvent du réseau libre. Ces résultats peuvent aussi s'expliquer par les différences de financement des infrastructures scolaires entre réseau officiel et réseau libre, qui reposent sur des mécanismes et des taux de subvention distincts selon le réseau et le pouvoir organisateur de l'école (Baccichet, 2021).

Les quatre écoles privées de l'échantillon, trop peu nombreuses pour être incluses dans les tests statistiques, affichent quant à elles de meilleurs résultats pour chacun des indicateurs environnementaux. Ce constat s'explique cependant davantage par leur localisation dans la moitié sud de la Région, où la végétation est plus importante et le stress thermique moins élevé, que par un effet propre au réseau privé.

Chaque école reste cependant un cas particulier et des écoles ayant besoin de davantage de végétation intérieure peuvent aussi bien appartenir au réseau officiel qu'au réseau libre. Cibler un réseau plutôt qu'un autre ne serait donc pas pertinent pour décider d'un programme de végétalisation. C'est l'établissement individuel, et non son réseau d'appartenance, qui doit rester l'échelle de décision.

5.4 Différences selon le niveau socio-économique

Suite aux régressions spatiales, le revenu ressort comme significatif pour quatre indicateurs sur sept, la canopée de rue, la purification de l'air, la régulation de la température et la pollution de l'air. Une fois l'éducation enlevée des modèles, un cinquième lien significatif apparaît entre le revenu et le risque de chaleur. Dans l'ensemble, le revenu semble ressortir comme un marqueur plus pertinent que l'éducation pour expliquer les inégalités environnementales dans les écoles à Bruxelles. Il faut cependant noter que l'éducation n'a pas fait l'objet d'un modèle univarié équivalent à celui du revenu (Tab. 6), ce qui limite la portée de cette conclusion.

Ces résultats rejoignent le motif de « croissant pauvre » documenté pour la Région bruxelloise (Van Hamme et al., 2016). Les quartiers centraux et nord-est, où se concentrent les ménages à plus faibles revenus, sont aussi ceux où les indicateurs environnementaux sont les plus défavorables. Ce lien entre richesse et végétation n'est d'ailleurs pas propre à Bruxelles, il est documenté dans de nombreuses villes à travers le monde sous le nom d'« effet de luxe » (Leong et al., 2018). Le motif spatial centre-périphérie observé ici n'est cependant pas universel. A Paris par exemple, ce sont souvent les ménages les plus aisés qui occupent le centre et l'ouest de la ville (Insee, 2023). Cette configuration est l'inverse de celle observée à Bruxelles mais laisse intact le lien global entre richesse et qualité environnementale.

Ce recouvrement entre précarité environnementale et précarité sociale n'est toutefois pas parfait. Comme le suggérait déjà la répartition spatiale des variables socio-économiques (section 4.4.1), certaines écoles à revenu et niveau d'éducation élevés se situent au sein même de quartiers par ailleurs considérés comme précaires. Ce constat s'explique par le fonctionnement du système scolaire bruxellois : le choix de l'école ne repose pas toujours sur la proximité géographique, signifiant que deux écoles d'un même quartier peuvent accueillir des publics aux profils socio-économiques très différents (Gallez et al., 2024a). Le profil socio-économique d'une école ne se confond donc pas avec celui de son quartier, ce qui justifie d'utiliser ici des données agrégées par établissement plutôt que par secteur statistique.

La prise en compte du profil socio-économique dans le score de vulnérabilité change sensiblement le classement de certaines écoles. Le Sint-Jan Berchmanscollege, par exemple, passe de la 2^e à la 37^e place une fois le profil socio-économique intégré (score de 0,716). Une école située à 250 mètres de là, l'école Charles Gheude, occupe quant à elle la 3^e position du score de vulnérabilité, avec une valeur de 0,903. À l'inverse, le Campus Kompas Tienerschool, qui n'apparaissait qu'en 9^e position sur les seuls indicateurs environnementaux, devient la deuxième école la plus vulnérable une fois le statut socio-économique intégré.

Ce constat est visible également sur les cartes des variables socio-économiques (Fig. 15). On trouve dans le centre de Bruxelles, dans un même quartier, des écoles au public favorisé comme des écoles au public plus précaire. Cependant, les écoles les plus défavorisées

(premier quartile sur les cartes, Fig. 15), sont toutes concentrées dans le croissant pauvre, sans aucune présence au sud, à l'est ou au sud-est de la Région.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fonctionnement du système scolaire bruxellois, où les familles choisissent librement l'école de leurs enfants et où chaque établissement reste largement autonome dans sa gestion. Ce fonctionnement en « quasi-marché scolaire » favorise la ségrégation entre écoles. Au fil du temps, les choix cumulés des familles façonnent le profil socio-économique de chaque établissement (Dumay et al., 2010). Cette dynamique ne profite probablement pas de la même manière à toutes les familles. Celles aux revenus plus modestes disposeraient de choix plus restreints et resteraient davantage liées à l'école la plus proche de chez elles, tandis que les familles aisées auraient davantage la capacité de s'en affranchir. Cette hypothèse expliquerait à la fois la persistance d'un lien global entre revenu et qualité environnementale des écoles, et la présence d'écoles à public plus favorisé au sein même du croissant pauvre. Cette hypothèse devrait toutefois être confirmée par des données et études spécifiques sur les pratiques de choix scolaire à Bruxelles.

5.5 Recommandations

5.5.1 Écoles prioritaires

Le classement des écoles les plus vulnérables (section 4.3) confirme, à l'échelle individuelle, le motif spatial déjà observé pour les indicateurs pris séparément. La grande majorité de ces écoles (sept sur dix) se situent à Bruxelles-ville, au centre de la Région bruxelloise. Cette répartition n'est pas surprenante dans la mesure où le score agrège des indicateurs qui suivent ce même gradient spatial. Ce score confirme néanmoins que leur combinaison ne dilue pas le motif observé, mais au contraire le renforce. On y retrouve également une majorité d'écoles du réseau libre (six sur dix), ce qui rejoint le résultat selon lequel ce réseau se distingue par une végétation intérieure significativement plus faible que le réseau officiel.

Le cas d'Imelda Instituut et de l'Institut Diderot illustre bien pourquoi l'accès à un espace vert public n'a pas été intégré au score de vulnérabilité. Ces deux écoles disposent chacune d'un espace vert accessible à moins de 300 mètres et se classent pourtant respectivement 1^{re} et 3^e école la plus vulnérable de la Région. À l'inverse, le Sint-Jan Berchmanscollege, 2^e du classement, n'a aucun accès de ce type. L'espace vert le plus proche, le jardin du Mont des Arts, se trouve à 600 mètres. Un seul espace vert accessible suffirait, si l'indicateur était intégré tel quel au score, à masquer un déficit par ailleurs sévère sur l'ensemble des six autres dimensions.

Ce premier classement des écoles prioritaires repose uniquement sur les indicateurs environnementaux. L'ajout des données socio-économiques permet d'affiner cette priorisation, en distinguant les écoles dont le déficit de végétation s'accompagne réellement d'un désavantage social de celles où ce n'est pas le cas.

Le score de vulnérabilité intégrant les données socio-économiques reste fortement corrélé au score environnemental seul ($p = 0,90$), confirmant l'effet de luxe environnemental déjà documenté pour le primaire bruxellois (Gallez et al., 2024a). Ce cumul n'est toutefois pas systématique et plusieurs écoles voient leur place dans le classement changer d'un score à l'autre (Annexe F). Ces changements montrent l'intérêt d'une approche de justice distributive. Un classement fondé sur les seuls indicateurs environnementaux risquerait de prioriser des écoles dont le déficit de végétation ne s'accompagne pas d'un désavantage social réel, et de sous-estimer des écoles à l'environnement correct mais au public particulièrement défavorisé. Pour prioriser de futurs programmes comme l'Opération Ré-création, c'est donc ce second score, intégrant la dimension socio-économique, qui semble le plus pertinent.

5.5.2 Créer des aménagements adaptés aux adolescents

La littérature scientifique insiste sur l'importance de l'interaction directe entre l'enfant et son environnement naturel (Delaunay et al., 2021 ; Sekulova et al., 2025), mais les formes que peut prendre cette interaction diffèrent nécessairement selon l'âge des élèves. Les aménagements observés dans les cours d'écoles primaires végétalisées (structures de jeu en bois, parcours sensoriels sur terre) répondent à des besoins de jeu libre et de motricité propres à l'enfance.

Les adolescents fréquentant l'enseignement secondaire n'utilisent plus la cour de récréation de la même manière. Pour eux, la cour de récréation est davantage un lieu de sociabilité qu'un lieu de jeu. Une alternative pertinente, déjà mise en avant dans le guide bruxellois de référence pour l'aménagement des cours de récréation (Perspective, 2021), consisterait à privilégier des dispositifs tels que les potagers pédagogiques. Ce type d'aménagement permet un contact direct avec le vivant sans reposer sur un usage récréatif classique de la cour. Cette alternative pourrait donc mieux correspondre aux attentes des adolescents. Ces potagers pourraient même s'inscrire dans le cadre de certains apprentissages concrets (biologie, alimentation, cycle des saisons) tout au long de l'année. Certains dispositifs potagers (bacs) présentent aussi l'avantage de mobiliser une surface réduite, ce qui les rend réalisables même dans des cours secondaires où l'espace disponible est réduit.

5.5.3 Ouverture sur le quartier

Une piste permettant d'augmenter le nombre d'espaces verts accessibles pour les résidents serait d'ouvrir certaines cours d'école végétalisées le week-end. Les riverains pourraient alors profiter d'avantages de zones végétalisées et conviviales en dehors des heures scolaires.

Cette idée n'est pas propre à ce projet car d'autres villes ont déjà mis en place ce type d'initiatives. En effet, la Ville de Genève a par exemple développé un réseau de « préaux » conçus pour être utilisés par les élèves pendant le temps scolaire et ouverts au quartier en dehors de celui-ci. Les cours d'écoles deviennent alors de véritables espaces publics (Ville de Genève, 2026). Paris a développé une logique similaire avec son programme des Cours Oasis :

plusieurs dizaines de cours d'écoles y sont désormais ouvertes au public le week-end, ajoutant près de 19 hectares d'espaces verts accessibles aux habitants (Ville de Paris, 2025).

Ce principe d'ouverture figure déjà parmi les ambitions du guide bruxellois de référence pour l'aménagement des cours de récréation, qui consacre l'une de ses cinq ambitions à « l'ouverture sur le quartier » (Perspective, 2021). Ce guide rappelle toutefois qu'une telle ouverture nécessite un cadre clair. Il est important de définir des horaires et les espaces accessibles, de créer une convention de co-utilisation entre l'école et les acteurs extérieurs et de répartir correctement les responsabilités en matière de gestion et d'entretien. Il recommande également une ouverture progressive, en commençant par exemple par les élèves et leurs parents avant d'élargir le public visé. À ce jour, aucune information ne permet de confirmer que des écoles secondaires bruxelloises sont effectivement ouvertes le week-end. Il s'agit donc d'une piste concrète, mais encore à développer pour la Région.

5.6 Mise en perspective régionale

Les écoles les plus vulnérables identifiées dans ce mémoire ne se trouvent pas n'importe où. En effet, elles se concentrent dans le centre de Bruxelles, une zone que la Région elle-même a identifiée comme prioritaire pour la végétalisation. Le Plan régional de développement durable (PRDD) distingue en effet trois grandes zones selon les besoins en verdure. Tout d'abord, le centre-ville est classé comme zone de verdoisement prioritaire. C'est dans cette zone que le déficit en végétation est le plus important. Ensuite, la première couronne doit surtout renforcer la verdure à l'intérieur des îlots et la seconde couronne doit avant tout préserver ce qu'elle a (Bruxelles Environnement, 2017). Le Pentagone et les quartiers autour du canal, là où se trouve la majorité des écoles prioritaires de ce mémoire, correspondent précisément à cette première zone. Nos résultats rejoignent donc, à l'échelle des écoles, un diagnostic que la Région a déjà posé à l'échelle de la ville.

Ce constat semble logique, dans le sens où l'échantillon a été construit à partir des zones de carence en espaces verts publics. Pourtant, les écoles en zone de carence situées dans la seconde couronne ressortent globalement moins vulnérables dans nos résultats. Ces zones, bien que déficitaires en espaces verts publics au sens strict, se situent dans des quartiers par ailleurs plus verts et plus favorisés. Il est possible qu'elles accueillent aussi des élèves vivant en dehors du bâti dense, dans des logements disposant d'un jardin privé, ce qui atténuerait leur besoin de compensation par la végétation scolaire. Ce dernier point reste une hypothèse qui nécessiterait confirmation par des données sur le cadre de vie résidentiel des élèves.

Au-delà d'améliorer la végétation dans les cours d'écoles, cibler ces écoles prioritaires permet également de renforcer le maillage vert. Cette stratégie consiste à créer des espaces verts là où ils manquent, puis à les relier entre eux par des rues plantées, pour que la nature ne se limite pas à quelques parcs isolés. Bruxelles Environnement identifie notamment les abords des écoles comme « espaces verts interstitiels », c'est-à-dire des espaces sous-exploités sur lesquels ce réseau peut s'appuyer (Bruxelles Environnement, 2017). Améliorer la gestion de la

verdure aux abords des écoles et végétaliser les cours d'école ne sont pas des gestes isolés. Il s'agit de maillons potentiels d'un réseau vert pensé à l'échelle de toute la Région. Le même raisonnement vaut pour la canopée de rue, autre indicateur mesuré dans ce mémoire. Verdir les rues autour des écoles est reconnu comme un moyen de réduire la chaleur, d'améliorer la qualité de l'air et de soutenir la biodiversité (Bruxelles Environnement, 2017) ce qui confirme, comme déjà évoqué en 5.1, que ces aménagements bénéficient à tout le quartier, pas seulement à l'école.

Finalement, un dernier point à aborder est la pression actuelle sur certains îlots de fraîcheur bruxellois. En effet, alors que les résultats de ce mémoire montrent que de nombreuses écoles, et par extension de quartiers font face à des risques environnementaux marqués comme la pollution de l'air ou les îlots de chaleur urbains, des propositions de projets immobiliers se développent sur des zones végétalisées.

Cette tension a d'ailleurs pris une dimension judiciaire en octobre 2025. La justice a condamné la Région à suspendre toute urbanisation de terrains non bâtis de plus de 0,5 hectare (RTBF, 2025). Il faut cependant préciser que ces terrains sont des friches à l'accès souvent interdit et non des espaces publics accessibles. Leur protection n'a dès lors pas d'effet direct sur l'accès à un espace vert. Ces zones ont plutôt des effets sur les indicateurs environnementaux, en agissant comme îlots de fraîcheur et capteurs de pollution. Ce jugement illustre tout de même une reconnaissance croissante de la valeur écologique des espaces non imperméabilisés en ville.

L'objectif de ce point est de mettre en évidence le fait que végétaliser les cours d'école doit s'accompagner d'une protection des espaces verts déjà existants.

5.7 Limites méthodologiques

Plusieurs limites méritent d'être explicitées. Premièrement, le seuil de 300 mètres utilisé pour définir l'accessibilité aux espaces verts publics a été repris tel quel de la méthodologie de Gallez et al. (2024a). Ce seuil, développé pour les écoles primaires, permet une comparaison des résultats entre les deux niveaux d'enseignement. Or, les adolescents se déplacent généralement à une vitesse de marche supérieure à celle des enfants du primaire, ce qui signifie qu'une distance identique en mètres ne correspond pas au même temps de marche. Cela peut avoir un effet sur ce qu'on considère comme accessible. Une piste méthodologique pour des travaux futurs consisterait à définir l'accessibilité en temps de marche plutôt qu'en distance fixe (par exemple 5 minutes de marche), ce qui permettrait une comparaison plus équitable entre tranches d'âge.

Deuxièmement, le traitement des écoles à profil particulier (écoles internationales, écoles ou classes implantées en milieu hospitalier) pose la question de leur inclusion dans l'analyse. Ce mémoire a fait le choix de les conserver dans le calcul des indicateurs environnementaux, dans la mesure où leurs élèves sont exposés aux mêmes conditions environnementales que

n'importe quel autre établissement du même secteur, mais de les exclure de l'analyse socio-économique, faute de données comparables disponibles pour ces établissements. Ce choix mérite d'être signalé explicitement dans la mesure où une différence se crée entre l'analyse environnementale pure et celle couplée aux données socio-économiques..

Enfin, le choix de restreindre l'échantillon aux 82 implantations situées en zone de carence en espaces verts publics accessibles exclut 198 implantations secondaires bruxelloises de l'analyse, ce qui limite la portée des conclusions.

5.8 Perspectives

Afin d'approfondir l'analyse, il serait intéressant d'étendre la méthodologie développée ici à l'ensemble des 280 établissements de l'enseignement secondaire de la Région de Bruxelles-Capitale, et non aux seules 82 situées en zone de carence. Cela permettrait de vérifier si le classement des écoles prioritaires reste inchangé.

En effet, rien ne garantit qu'une école bénéficiant d'un accès à un parc proche affiche par ailleurs une bonne végétation intérieure, une canopée de rue satisfaisante ou une faible exposition à la pollution et à la chaleur. Ces dimensions sont a priori indépendantes du seul critère de carence en espaces verts publics. L'hypothèse d'une stabilité du classement des écoles prioritaires en cas d'extension à l'ensemble des écoles secondaires bruxelloises est donc moins évidente qu'il n'y paraît à première vue.

6 Conclusion

Ce mémoire visait à identifier les motifs spatiaux de répartition des bénéfices et des risques environnementaux liés aux espaces verts au sein et autour des écoles secondaires de la Région de Bruxelles-Capitale, et à examiner dans quelle mesure cette distribution reflète des inégalités de justice distributive liées au statut socio-économique des élèves.

Les résultats obtenus permettent de répondre aux différentes questions de recherche posées en introduction. Concernant la disponibilité de la végétation, la moitié des 82 écoles étudiées présentent un taux de couverture végétale intérieure inférieur à 30 %, l'objectif fixé par Gallez et al. (2024a), et un quart d'entre elles en compte moins de 8,5 %. La canopée de rue reste, elle, structurellement insuffisante pour l'ensemble des établissements, avec une médiane de seulement 5,54 %, bien en-dessous de l'objectif de 30 % fixé par la règle du 3-30-300 (Konijnendijk, 2023). L'accès à un espace vert public à moins de 300 mètres demeure, quant à lui, rare. Seules 13 écoles sur 82 en bénéficient, et aucune ne dispose d'un espace vert de plus d'un hectare à moins de 200 mètres de son entrée, conformément aux critères de zone de carence définis par Bruxelles Environnement (2026).

En matière d'exposition aux risques climatiques, la pollution de l'air et le risque de chaleur suivent un motif spatial concentrique centre-périphérie marqué. Les écoles du Pentagone et des communes limitrophes du canal cumulent les expositions les plus élevées, tandis que celles au sud de la Région y sont nettement moins exposées. Ce motif se retrouve également dans le score de vulnérabilité environnementale, qui se concentre en particulier à Bruxelles-Ville et à Anderlecht. Cette première hypothèse de travail, selon laquelle la distribution spatiale de la végétation et des risques environnementaux suivrait un motif concentrique comparable à celui déjà observé pour l'enseignement primaire, est donc confirmée.

La seconde hypothèse, portant sur le cumul des désavantages environnementaux et socio-économiques, se vérifie également. Les régressions spatiales montrent que le revenu des ménages est significativement associé à quatre des sept indicateurs environnementaux dans le modèle combiné (canopée de rue, purification de l'air, régulation thermique et pollution de l'air), et à un cinquième (le risque de chaleur) une fois l'éducation retirée du modèle. Le score de vulnérabilité intégrant les données socio-économiques reste par ailleurs fortement corrélé au score environnemental seul (ρ de Spearman = 0,90). Les écoles les moins végétalisées et les plus exposées aux risques climatiques sont aussi, en général, celles qui accueillent les élèves les plus défavorisés. Ce recouvrement n'est toutefois pas systématique, comme l'illustre le changement de classement du Sint-Jan Berchmanscollege (2^e position sur le plan environnemental, 37^e une fois le profil socio-économique intégré), qui rappelle que le profil social d'une école ne se confond pas nécessairement avec celui de son quartier.

Sur le plan opérationnel, ce travail propose un outil de priorisation pour de futurs programmes de végétalisation de type « Opération Ré-création ». Le classement fondé uniquement sur les indicateurs environnementaux permet d'identifier les écoles les plus en déficit de nature. C'est cependant le score intégrant la dimension socio-économique qui semble le plus

pertinent pour orienter les décisions, dans la mesure où il évite de sous-estimer les écoles où le public est particulièrement précarisé.

Les écoles les plus vulnérables identifiées ici se concentrent dans le périmètre que la Région bruxelloise a désigné comme prioritaire pour le verdissement, via le zonage du Plan Régional de Développement Durable. Ce recoupement suggère que la végétalisation des cours d'école prioritaires doit être pensée de façon globale, afin qu'elle puisse bénéficier au plus grand nombre et pas seulement aux écoliers.

Ce mémoire présente néanmoins certaines limites, notamment liées à la restriction de l'échantillon aux seules écoles situées en zone de carence. Étendre cette analyse à l'ensemble des 280 implantations secondaires bruxelloises permettrait de vérifier la stabilité du classement des écoles prioritaires et d'affiner la portée des résultats obtenus ici.

Au-delà de ces limites, ce travail confirme que les inégalités environnementales observées à l'échelle des quartiers bruxellois sont également visibles à l'échelle des établissements scolaires. Alors que l'école devrait offrir à tous les adolescents un accès égal à la nature, ce sont souvent les élèves déjà les plus vulnérables socialement qui fréquentent les écoles les moins végétalisées. Prioriser ces établissements dans les futurs programmes de renaturation, tout en protégeant les espaces verts existants apparaît donc comme un levier essentiel de justice environnementale pour les adolescents bruxellois.

7 Bibliographie

Baccichet, M. (2021). « Refinancer les infrastructures scolaires et répondre aux enjeux climatiques et pédagogiques ». *La Ligue de l'Enseignement et de l'Éducation permanente*. <https://ligue-enseignement.be/refinancer-les-infrastructures-scolaires-et-repondre-aux-enjeux-climatiques-et-pedagogiques>. Dernière visite le 13 août 2026.

Bertassello, L. E., van der Velde, M., Maes, J., Liu, S., Brandt, M., et Feyen, L. (2026). « Assessing European cities with the 3-30-300 rule underscores the need for enhanced urban greening efforts ». *Nature Communications*, 17(1), 4846. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-71523-8>

Bubble. (nd). Opération Ré-création : Sainte-Trinité Cardinal Mercier 2. <https://www.bubble.brussels/sainte-trinite-cardinal-mercier-2/>. Dernière visite le 26 juillet 2026

Bruxelles Environnement. (2017). 6. *Le maillage vert* (2017). https://document.environnement.brussels/opac_css/doc_num.php?explnum_id=5665. Dernière visite le 15 août 2026

Bruxelles Environnement. (2025a). *Couverture végétale et qualité biologique*. <https://environnement.brussels/citoyen/documentation-et-outils/etat-des-lieux-de-lenvironnement/couverture-vegetale-et-qualite-biologique>. Dernière visite le 26 juillet 2026

Bruxelles Environnement. (2025b). *Opération Ré-création : 4 chantiers terminés*. <https://environnement.brussels/enseignement/news/2025/operation-re-creation-4-chantiers-terminees>. Dernière visite le 27 juillet 2026

Bruxelles Environnement. (2025c). *Îlot de chaleur*. <https://environnement.brussels/citoyen/documentation-et-outils/etat-des-lieux-de-lenvironnement/ilot-de-chaleur>. Dernière visite le 25 juillet 2026

Bruxelles Environnement. (2025d). *Qualité de l'air*. <https://environnement.brussels/citoyen/documentation-et-outils/etat-des-lieux-de-lenvironnement/qualite-de-lair#qualite-de-lair-concentration-en-particules-fines-pm10>. Dernière visite le 28 juillet 2026

Bruxelles Environnement. (2026). *Espaces verts et leur gestion*. <https://environnement.brussels/citoyen/documentation-et-outils/etat-des-lieux-de-lenvironnement/espaces-verts-et-leur-gestion>. Dernière visite le 01 août 2026

COOLSCHOOLS. (2022). Nature-based climate shelters in schools. <https://coolschools.eu>. Dernière visite le 27 juillet 2026

Dadvand, P., Nieuwenhuijsen, M. J., Esnaola, M., Fornis, J., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M., Rivas, I., López-Vicente, M., De Castro Pascual, M., Su, J., Jerrett, M., Querol, X. et Sunyer, J. (2015a). « Green spaces and cognitive development in primary schoolchildren ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (26): 7937-42. <https://doi.org/10.1073/pnas.1503402112>.

Dadvand, P., Rivas, I., Basagaña, X., Alvarez-Pedrerol, M., Su, J., De Castro Pascual, M., Amato, F., Jerrett, M., Querol, X., Sunyer, J. et Nieuwenhuijsen, M. J. (2015b). « The association between greenness and traffic-related air pollution at schools ». *Science of The Total Environment*, 523: 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.103>.

Delaunay, F., Levrard, S., & Ramos, A. (2021). « La cour d'école végétalisée à l'épreuve des pratiques socio-éducatives ». *Géographie et cultures*, (119), 41-56. <https://doi.org/10.4000/gc.19586>.

Delaunay, F., Ramos, A., Lagurgue, X., Blanc, S., Machon, N., et Akiki, E. (2022). « La renaturation des sols des écoles parisiennes au prisme des services écosystémiques : élaboration d'un outil d'aide à la décision dans le cadre du programme cours Oasis de la ville de Paris ». *Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, 27. <https://doi.org/10.4000/paysage.31301>.

De Muynck, S. (2025). *Zones prioritaires à Bruxelles*. https://besustainable.brussels/storage/uploads/57781527-bb8e-4110-99f9-4e12763630a1/20250211_ICU_2_De-Muynck_FR.pdf. Dernière visite le 27 juillet 2026

Dumay, X., Dupriez, V. & Maroy, C. (2010). « Ségrégation entre écoles, effets de la composition scolaire et inégalités de résultats ». *Revue française de sociologie*, 51(3), 461-480. <https://doi.org/10.3917/rfs.513.0461>.

EEA. (2024). *Net land take in cities and commuting zones in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/net-land-take-in-cities>. Dernière visite le 02 mai 2026

Gaaloul, H. (2021). *La lutte contre l'îlot de chaleur urbain dans le contexte du changement climatique. Cas de la Région de Bruxelles Capitale*. Mémoire de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles. [https://mem-envi.ulb.be/Memoires en pdf/MFE 20 21/MFE Gaaloul 20 21.pdf](https://mem-envi.ulb.be/Memoires%20en%20pdf/MFE_20_21/MFE_Gaaloul_20_21.pdf)

Gallez, E., Canters, F., Gadeyne, S., et Baró, F. (2024a). « A multi-indicator distributive justice approach to assess school-related green infrastructure benefits in Brussels ». *Ecosystem Services*, 70 : 101677. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101677>

Gallez, E., Fraile Mujica, C. P., Gadeyne, S., Canters, F., & Baró, F. (2024b). « Nature-based school environments for all children ? Comparing exposure to school-related green and blue infrastructure in four European cities ». *Ecological Indicators*, 166, 112374. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112374>.

Gallez, E. (2024c). Urban Vegetation Data - Canopy Height Model (Brussels Capital Region, 2021) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13869065>.

GoodPlanet Belgium & Natagora. (nd). *Ose le vert, recrée ta cour*. <https://www.oselevert.be/ecoles-selectionnees-2023-2025.php>. Dernière visite le 12 août 2026

Hafner, C. (2025). *Statistiques spatiales approfondies*. Cours de l'Université Catholique de Louvain, Louvain-La-Neuve

IBSA. (nd). *Etablissements*. <https://ibsa.brussels/themes/enseignement/etablissements>. Dernière visite le 02 août 2026

INSEE. (2023). *Statistiques locales. Médiane du niveau de vie (€) 2023*. https://statistiques-locales.insee.fr/#bbox=231076,6267263,57816,33128&c=indicator&i=ds_filosofi.med_sl&s=2023&selcodgeo=75056&t=A01&theme=rev_niv_vie&view=map1. Dernière visite le 15 août 2026

IRCEL-CELINE. (2024). pm10_anmean_2024_atmostreet_v73.tif. IRCEL-CELINE. <http://ftp.irceline.be/atmostreet/2024/>. Dernière visite le 27 juillet 2026

IRCEL-CELINE. (nd-a). *Historique moyenne annuelle PM₁₀*. <https://www.irceline.be/fr/qualite-de-lair/mesures/particules-fines/history>. Dernière visite le 01 août 2026

IRCEL-CELINE. (nd-b). *PM₁₀ Moyenne annuelle*. <https://www.irceline.be/fr/qualite-de-lair/mesures/particules-fines/history/evolutions>. Dernière visite le 01 août 2026

Islam, A., Pattnaik, N., Moula, M. M., Rötzer, T., Pauleit, S. et Rahman, M. A. (2024). « Impact of urban green spaces on air quality: A study of PM10 reduction across diverse climates ». *Science of The Total Environment*, 955 : 176770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176770>.

lungman, T., Cirach, M., Marando, F., Pereira Barboza, E., Khomenko, S., Masselot, P., Quijal-Zamorano, M., Mueller, N., Gasparrini, A., Urquiza, J., Heris, M., Thondoo, M. et Nieuwenhuijsen, M. (2023). « Cooling cities through urban green infrastructure: a health impact assessment of European cities ». *The Lancet*, 401 : 577-589. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)02585-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)02585-5).

Konijnendijk, C. C. (2023). « Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: introducing the 3-30-300 rule ». *Journal of Forestry Research*, 34 : 821-830. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z>.

Lauwaet, D., De Ridder, K., Saeed, S., Brisson, E., Chatterjee, F., Van Lipzig, N. P. M., Mahieu, B. et Hooyberghs, H. (2016). « Assessing the current and future urban heat island of Brussels ». *Urban Climate*, 15 : 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.11.008>.

Leong, M., Dunn, R. R. & Trautwein, M. D. (2018). « Biodiversity and socioeconomics in the city: a review of the luxury effect ». *Biology Letters*, 14(5), 20180082. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0082>.

McCormick, R. (2017). « Does Access to Green Space Impact the Mental Well-being of Children : A Systematic Review ». *Journal of Pediatric Nursing, Special Issue: Social Determinants of Health*, 37, 3-7. <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2017.08.027>.

Nations Unies. (nd). Objectif 11 : Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables. *Objectifs de Développement Durable*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/cities/>. Dernière visite le 03 mai 2026

OMS. (2016). *Urban green spaces and health, a review of evidence*. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/74006ead-650d-4fca-815a-f1ff53c1eea1/content>.

Paradigm. (2018). Îlots de chaleur urbains. <https://datastore.brussels/web/data/dataset/73b4f29a-cff0-4d6a-a239-cb99d3140531#access>. Dernière visite le 15 mai 2026

Paradigm. (2024). *UrbIS – Vecteur*. <https://datastore.brussels/web/data/dataset/f3ad5174-4a86-11ef-b009-010101010000#access>. Dernière visite le 15 mai 2026

Paradigm. (nd). *Service de visualisation - Espaces verts et biodiversité*. <https://datastore.brussels/web/data/service/a1419b40-9526-4c45-a036-dafed88dccf0#access>. Dernière visite le 02 août 2026

Perspective. (2021). *Repenser la cour de récréation. Guide pour l'amélioration des cours de récréation en Région bruxelloise*. https://environnement.brussels/sites/default/files/user_files/guide_repenser_la_cour_de_recreation.pdf. Dernière visite le 02 août 2026

Perspective. (nd). *Appel à projets pour la végétalisation des cours d'écoles en Région bruxelloise*. <https://perspective.brussels/fr/toolbox/financements/8474>. Dernière visite le 02 août 2026

Richardson, M. (2025). « Modelling Nature Connectedness Within Environmental Systems: Human-Nature Relationships from 1800 to 2020 and Beyond ». *Earth*, 6(3) : 82. <https://doi.org/10.3390/earth6030082>.

RTBF. (2025). *Justice : la Région bruxelloise doit suspendre l'urbanisation de ses terrains naturels*. <https://www.rtbf.be/article/justice-la-region-bruxelloise-doit-suspendre-l-urbanisation-de-ses-terrains-naturels-11626141>. Dernière visite le 02 août 2026

Ruiz-Mallén, I., Baró, F., Bentouhami, H., Blanc, N., Casas, L., Clauzel, C., Colacios, R., Gallez, E., Phillips, A., Presser, P., Reckien, D., & Sekulova, F. (2025). « Greening schools for climate-resilient, inclusive and liveable cities ». *Nature Climate Change*, 1-3. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02519-3>.

Sekulova, F., Mir, L. C., et Ruiz-Mallén, I. (2025). « Stakeholder entanglements around diversifying schoolyards in Brussels and Barcelona ». *Urban Forestry & Urban Greening*, 112, 128957. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128957>.

Sparacio, A., Ropovik, I., Jiga-Boy, G., Cem Lağap, A. et IJzerman, H. (2023). « Stress Regulation via Being in Nature and Social Support in Adults, a Meta-analysis ». *Collabra: Psychology*, 9 : 77343. <https://doi.org/10.1525/collabra.77343>.

SPF Intégration Sociale. (nd). *Contexte*. <https://www.mi-is.be/fr/contexte>. Dernière visite le 26 juillet 2026

Statbel. (2026). *Densité de la population*. <https://statbel.fgov.be/fr/themes/population/structure-de-la-population/densite-de-la-population>. Dernière visite le 02 août 2026

Stessens, P., Khan, A. Z., Huysmans, M., et Canters, F. (2017). « Analysing urban green space accessibility and quality: A GIS-based model as spatial decision support for urban ecosystem services in Brussels ». *Ecosystem Services*, 28 : 328-340. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.016>.

Van Hamme, G., Grippa, T. et Van Criekingen, M. (2016). « Mouvements migratoires et dynamiques des quartiers à Bruxelles ». *Brussels Studies*, 97. <https://doi.org/10.4000/brussels.1331>.

Vella-Brodrick, D.A., Gilowska, K. (2022). « Effects of Nature (Greenspace) on Cognitive Functioning in School Children and Adolescents: a Systematic Review ». *Educ Psychol Rev* **34**, 1217–1254. <https://doi.org/10.1007/s10648-022-09658-5>.

Ville de Bruxelles. (2023). *Îlot de chaleur urbain - Livrable 4 : Proposition de mesures d'atténuation et recommandations générales pour lutter contre les ICU*. <https://www.brussel.be/sites/default/files/bxl/Livrable%20ICU.pdf>

Ville de Genève. (2026). *Préaux d'écoles à Genève: des espaces de vie au cœur des quartiers*. <https://www.geneve.ch/themes/structures-accueil-enfance-activites-extrascolaires/ecole/preaux-cours-ecoles>. Dernière visite le 02 août 2026

Ville de Paris. (2025). *Les cours oasis*. <https://www.paris.fr/pages/les-cours-oasis-7389>. Dernière visite le 02 août 2026

Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). « Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough' ». *Landscape and Urban Planning*, 125, 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017>.

7.1 Utilisation de l'IA

Dans le cadre de ce mémoire, l'IA a été utilisée lors de la recherche bibliographique, pour reformuler et regrouper certaines idées ainsi que comme aide pour la réalisation des analyses statistiques (code R).

8 Liste des figures et tableaux

8.1 Liste des figures

Figure 1 : Taux de végétalisation par îlot urbain à Bruxelles. (Sources : Bruxelles Environnement (2025a))	2
Figure 2 : : Avant - après de l'école Sainte-Trinité Cardinal Mercier 2 à Ixelles ayant participé à l'Opération Ré-création (Source : Bubble (nd)).....	3
Figure 3 : Représentation du phénomène d'îlot de chaleur (Source : Bruxelles Environnement (2025c))	5
Figure 4 : Îlots de chaleur dans la Région de Bruxelles-Capitale. Réalisée à partir des données de Paradigm (2018)	6
Figure 5 : Implantations de l'enseignement secondaire en Région Bruxelles-Capitale et couverture végétale de la région	12
Figure 6 : Établissements de l'enseignement secondaire situés dans une zone de carence en espaces verts accessibles au public.....	13
Figure 7 : Visualisation des données utilisées pour le calcul des indicateurs environnementaux	16
Figure 8 : Distribution spatiale des indicateurs d'infrastructures vertes par école ; la végétation intérieure (gauche) et la canopée de rue (droite)	23
Figure 9 : Distribution spatiale de l'accès à un espace vert public par école	24
Figure 10 : Distribution spatiale des services écosystémiques de régulation ; la purification de l'air (gauche) et la régulation de la température (droite).....	24
Figure 11 : Distribution spatiale des risques environnementaux par école ; la pollution de l'air (gauche) et l'exposition à la chaleur (droite)	25
Figure 12 : Boxplots des indicateurs environnementaux normalisés et regroupés par réseau d'enseignement.....	26
Figure 13 : Répartition spatiale du score de vulnérabilité environnementale calculé pour les écoles secondaires (n = 76)	27
Figure 14 : Histogramme de la distribution du score de vulnérabilité environnementale	28
Figure 15 : Distribution spatiale des variables socio-économiques ; les niveaux de revenu (à gauche) et les niveaux d'éducation (à droite).....	29

Figure 16 : Matrice de corrélation de Spearman. Note : *p-valeur < 0.05; **p-valeur < 0.01; ***p-valeur < 0.001..... 30

Figure 17 : Corrélations de Spearman entre les indicateurs environnementaux et les variables socio-économiques (n = 66 pour le revenu, n = 67 pour l'éducation). P-valeur après correction par un test t modifié. Note : *p-valeur < 0.05; **p-valeur < 0.01; ***p-valeur < 0.001..... 31

Figure 18 : Répartition spatiale du score de vulnérabilité combinant les indicateurs environnementaux et socio-économiques calculé pour les écoles secondaires (n = 66)..... 34

Figure 19 : Histogramme de la distribution du score de vulnérabilité combinant les indicateurs environnementaux et socio-économiques 35

8.2 Liste des tableaux

Tableau 1 : Explication des sept indicateurs de qualité environnementale et provenance des données.....	14
Tableau 2 : Taux de purification de l'air attribué selon le type de végétation	17
Tableau 3 : Explication des données socio-économique pour les écoles francophones et néerlandophones et leurs caractéristiques (valeurs après normalisation)	19
Tableau 4 : Résultats du test de Mann-Whitney U comparant les réseaux officiel (n = 32) et libre (n = 46). Taille d'effet r calculée par corrélation biserial de rang (seuils indicatifs : 0,10 = faible, 0,30 = modéré, 0,50 = fort)	26
Tableau 5 : Résultats des régressions linéaires pour chaque indicateur environnemental selon le modèle le plus approprié (modèle revenu + éducation, n = 66 écoles). Note : *p-valeur < 0.05; **p-valeur < 0.01; ***p-valeur < 0.001	32
Tableau 6 : Résultats des régressions linéaires pour chaque indicateur environnemental selon le modèle le plus approprié (modèle revenu, n = 66 écoles). Note : *p-valeur < 0.05; **p-valeur < 0.01; ***p-valeur < 0.001.....	33

9 Annexes

Annexe A : Analyse descriptive basée sur les valeurs normalisées avec la médiane et l'écart interquartile entre parenthèses

Groupe	Végétation intérieure	Canopée de rue	EVP accessibles*	Purification de l'air	Régulation thermique	Pollution de l'air (PM10)	Risque de chaleur
Officiel (n=31)	0.37 (0.34)	0.12 (0.16)	0.10 (0.30)	0.26 (0.22)	0.22 (0.21)	0.69 (0.12)	0.83 (0.28)
Libre (n=46)	0.16 (0.37)	0.08 (0.09)	0.22 (0.47)	0.32 (0.23)	0.29 (0.23)	0.70 (0.13)	0.82 (0.31)
Privé (n=4)	0.65 (0.24)	0.21 (0.14)	0.50 (1.00)	0.69 (0.33)	0.70 (0.44)	0.38 (0.23)	0.39 (0.30)
FR (n=61)	0.33 (0.47)	0.09 (0.14)	0.13 (0.34)	0.27 (0.24)	0.25 (0.23)	0.69 (0.13)	0.83 (0.29)
NL (n=16)	0.18 (0.20)	0.08 (0.12)	0.31 (0.60)	0.27 (0.16)	0.28 (0.23)	0.71 (0.10)	0.73 (0.38)
RBC (n=81)	0.31 (0.49)	0.09 (0.15)	0.19 (0.45)	0.31 (0.24)	0.28 (0.23)	0.69 (0.12)	0.81 (0.33)
BRUXELLES (n=20)	0.20 (0.31)	0.05 (0.07)	0.05 (0.22)	0.20 (0.19)	0.11 (0.27)	0.72 (0.15)	0.86 (0.49)
ANDERLECHT (n=12)	0.21 (0.41)	0.11 (0.13)	0.00 (0.00)	0.20 (0.18)	0.19 (0.22)	0.72 (0.10)	0.85 (0.27)
SCHAERBEEK (n=11)	0.09 (0.23)	0.07 (0.11)	0.09 (0.30)	0.20 (0.26)	0.22 (0.13)	0.75 (0.04)	0.90 (0.04)
IXELLES (n=8)	0.37 (0.45)	0.08 (0.03)	0.38 (0.52)	0.34 (0.08)	0.30 (0.08)	0.67 (0.06)	0.77 (0.06)
FOREST (n=5)	0.35 (0.15)	0.20 (0.06)	0.00 (0.00)	0.41 (0.01)	0.36 (0.05)	0.64 (0.04)	0.83 (0.26)
UCCLE (n=5)	0.71 (0.21)	0.66 (0.62)	0.40 (0.89)	0.73 (0.14)	0.86 (0.09)	0.33 (0.01)	0.26 (0.07)
WOLUWE-SAINT-PIERRE (n=5)	0.59 (0.54)	0.22 (0.31)	0.80 (0.84)	0.73 (0.42)	0.74 (0.33)	0.25 (0.26)	0.30 (0.30)
MOLENBEEK-SAINT-JEAN (n=4)	0.33 (0.24)	0.14 (0.22)	0.50 (0.58)	0.11 (0.09)	0.08 (0.11)	0.76 (0.10)	0.93 (0.04)
JETTE (n=3)	0.25 (0.15)	0.36 (0.12)	0.00 (0.00)	0.40 (0.07)	0.29 (0.05)	0.65 (0.01)	0.75 (0.03)
SAINT-GILLES (n=3)	0.43 (0.23)	0.07 (0.03)	0.00 (0.00)	0.47 (0.17)	0.37 (0.14)	0.70 (0.00)	0.77 (0.03)
AUDERGHEM (n=2)	0.81 (0.19)	0.31 (0.27)	0.00 (0.00)	0.59 (0.25)	0.68 (0.32)	0.17 (0.16)	0.39 (0.16)
KOEKELBERG (n=2)	0.30 (0.26)	0.06 (0.02)	0.50 (0.71)	0.20 (0.09)	0.20 (0.07)	0.67 (0.03)	0.76 (0.11)
WATERMAEL-BOITSFORT (n=1)	0.92 (0.00)	0.17 (0.00)	1.00 (NA)	0.70 (0.00)	0.76 (0.00)	0.00 (0.00)	0.21 (0.00)

Annexe B : Classement des dix écoles les plus vulnérables selon le score de vulnérabilité environnementale

Nom	Commune	Réseau	Langue	Score de vulnérabilité	Végétation	Canopée de rue	EVP	Purification de l'air	Régulation de la température	PM10	Risque de chaleur
IMELDA-INSTITUUT	BRUXELLES	Libre	NL	0,958	0,001	0,087	1,000	0,064	0,045	0,948	0,999
SINT-JAN BERCHMANS COLLEGE	BRUXELLES	Libre	NL	0,954	0,000	0,052	0,000	0,007	0,006	0,806	0,984
INSTITUT DIDEROT	BRUXELLES	Officiel	FR	0,931	0,015	0,087	0,000	0,042	0,043	0,823	0,949
FREINETSCHOOL KEERPUNT SECUNDAIR BRUSSEL	MOLENBEEK- SAINT-JEAN	Libre	NL	0,925	0,000	0,037	1,000	0,029	0,038	0,721	0,930
INSTITUT DOMINIQUE PIRE- IMPLANTATION DE LENGLENTIER	BRUXELLES	Libre	FR	0,923	0,008	0,144	0,000	0,187	0,088	0,976	0,992
COLLEGE MATTEO RICCI	ANDERLECHT	Libre	FR	0,916	0,052	0,246	0,000	0,107	0,023	0,922	1,000
LYCEE HENRIETTE DACHSBECK	BRUXELLES	Officiel	FR	0,913	0,106	0,091	0,000	0,020	0,018	0,806	0,911
CHARLES GHEUDE ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPECIALISE PROFESSIONNEL	BRUXELLES	Officiel	FR	0,908	0,209	0,146	0,000	0,026	0,023	0,859	0,992
CEFA D'ANDERLECHT - INSTITUT DE LA PROVIDENCE	ANDERLECHT	Libre	FR	0,901	0,023	0,196	0,000	0,130	0,083	0,868	0,966
CAMPUS KOMPAS TIENERSCHOOL EN HIGH SCHOOL	SCHAERBEEK	Libre	NL	0,887	0,023	0,012	0,000	0,190	0,145	0,747	0,944

Annexe C : Résultats du calcul de l'indice de Moran sur les variables brutes

Variable	Moran_I	P_value	Z-score	Significatif
Vegetation	0,03	0,309	0,498	FALSE
Canopee	0,226	0,00244	2,815	TRUE
EVP	0.220	0,00368	2.680	TRUE
Purification	0,564	5,10E-11	6,464	TRUE
Temp_regulation	0,674	7,10E-15	7,695	TRUE
PM10	0,709	3,08E-16	8,086	TRUE
Heatrisk	0,649	7,79E-14	7,382	TRUE

Annexe D : Résultats corrélation de Spearman (p-valeur basée sur le test de t modifié)

indicateur_env	variable_ses	rho	p_classique	p_spatial	n_effectif	n
vegetation	revenu	0.214	0.0841	0.145	47.7	66
vegetation	education	0.193	0.117	0.191	47.3	67
canopee	revenu	0.229	0.0649	0.0364	84.1	66
canopee	education	0.126	0.311	0.13	146.8	67
purification	revenu	0.345	0.00459	0.0434	34.8	66
purification	education	0.216	0.0797	0.203	36.5	67
temp_regulation	revenu	0.39	0.00121	0.072	22.1	66
temp_regulation	education	0.283	0.0202	0.182	23.8	67
pm10	revenu	-0.512	1.13e-05	0.0183	20.8	66
pm10	education	-0.417	0.000455	0.0422	24.2	67
heatrisk	revenu	-0.453	0.000136	0.0519	19	66
heatrisk	education	-0.387	0.00122	0.0885	20.4	67

Annexe E : Résultats complets des modèles de régression

	Végétation intérieure	Canopée de rue	Canopée de rue	EVP	EVP
Modèle	OLS	OLS	SLAG	OLS	SEM
Intercept	0,245	0,12	0,085	0,041	0,025
p_intercept	0,000232	0,0171	0,0806	0,677	0,808
Revenu	0,252	0,518*	0,462*	0,132	-0,001
p_revenu	0,37	0,0201	0,0212	0,762	0,998
Education	-0,004	-0,256	-0,254	0,127	0,246
p_education	0,989	0,203	0,166	0,751	0,502
R²	0,054	0,122	0,231	0,026	0,106
AIC	9,3	-23,8	-27	67,5	65,5
Log-likelihood	-0,7	15,9	18,5	-29,8	-27,7
breusch_pagan_p	0,306	0,0818		0,151	
shapiro_p	0,03	5,15E-08		4,88E-13	
moran_p	0,401	0,0418		0,00463	

	Purification de l'air	Purification de l'air	Régulation de la température	Régulation de la température	PM10	PM10	Risque de chaleur	Risque de chaleur
Modèle	OLS	SEM	OLS	SLAG	OLS	SLAG	OLS	SLAG
Intercept	0,256	0,327	0,198	0,057	0,757	0,156	0,898	0,144
p_intercept	0,00000274	5,92E-08	0,000136	0,12	7,74E-31	0,00000157	1,26E-23	0,0000238
Revenu	0,566	0,428	0,508	0,342	-0,392	-0,182	-0,253	-0,081
p_revenu	0,0127	0,00581	0,0222	0,0126	0,0144	0,024	0,321	0,525
Education	-0,248	-0,221	-0,12	-0,124	0,062	0,02	-0,208	-0,128
p_education	0,224	0,103	0,548	0,323	0,664	0,781	0,372	0,27
R2	0,154	0,571	0,195	0,689	0,249	0,812	0,197	0,833
AIC	-21,7	-50,2	-24,1	-65,9	-67,7	-130,9	-4	-66,3
Log_likelihood	14,9	30,1	16,1	38	37,8	70,4	6	38,2
breusch_pagan_p	0,00156		0,000073		0,00293		0,0463	
shapiro_p	0,102		0,389		0,121		0,0132	
morán_p	2,94E-10		2,66E-11		2,37E-13		2,63E-11	

Annexe F : : Classement des dix écoles les plus vulnérables selon le score de vulnérabilité combinant les indicateurs environnementaux et socio-économique et évolution de l'école par rapport à la vulnérabilité environnementale seule

NOM	COMMUNE	Score vulnérabilité final	Rang	Score vulnérabilité envi	Rang envi	Différence
IMELDA-INSTITUUT	BRUXELLES	0.908451427457282	1	0.95840661708109	1	0
CAMPUS KOMPAS TIENERSCHOOL EN HIGH SCHOOL	SCHAERBEEK	0.904040908211991	2	0.886880365646367	10	8
CHARLES GHEUDE ENSEIGNEMENT SECONDAIRE SPECIALISE PROFESSIONNEL	BRUXELLES	0.902647297254206	3	0.907839051221683	8	5
ATHENEE ROYAL TOOTS THIELEMANS	MOLENBEEK-SAINT-JEAN	0.889572023102063	4	0.852762697469417	17	13
ATHENEE ROYAL TOOTS THIELEMANS	ANDERLECHT	0.889572023102063	4 (=)	0.852762697469417	17(=)	13
INSTITUT DIDEROT	BRUXELLES	0.870291967415736	6	0.931128225040767	3	-3
INSTITUT DOMINIQUE PIRE- IMPLANTATION DE LENGLENTIER	BRUXELLES	0.863575386279682	7	0.923495299686358	5	-2
CAMPUS SAINT-JEAN	MOLENBEEK-SAINT-JEAN	0.859767937561897	8	0.848496016490567	21	13
ATHENEE ROYAL DE LA RIVE GAUCHE	BRUXELLES	0.845606770426766	9	0.82159021374235	23	14
SINT-GUIDO-INSTITUUT - VERHEYDENSTRAAT (SPOOR WEST)	ANDERLECHT	0.845328899948754	10	0.805906586756833	26	16

10 Biographie

Apolline De Prins

Bachelier en sciences géographiques

Master en sciences géographiques, orientation générale

Me contacter :

apolline.deprins@hotmail.com

Allée Pré au Lait, 22

1400 Nivelles

