

Synthèse des connaissances sur les facteurs de risque environnementaux et individuels liés aux allergies aux pollens

ÉTAT DES CONNAISSANCES

SEPTEMBRE 2025

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

AUTRICE

Cassandra Lévesque-Vézina, conseillère scientifique
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

SOUS LA COORDINATION DE

Marie-Jo Ouimet, médecin spécialiste
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

COLLABORATION

Charles Prisca Samba, conseiller scientifique
Jérôme Martinez, coordonnateur de l'Équipe développement et courtage des connaissances
Patrick Poulin, coordonnateur de l'Équipe scientifique sur l'air
Marie-Eve Dubuis, conseillère scientifique spécialisée
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

Geneviève Grenier, conseillère scientifique
Secrétariat général

RÉVISION

Martine Boivin, immuno-allergologue
Centre hospitalier universitaire de Québec-Université Laval

Sarah Tardif, étudiante au doctorat en biologie
Université du Québec à Montréal

Stéphane Buteau, chercheur associé à l'Équipe scientifique sur l'air, Institut national de santé publique du Québec
et professeur, Université de Montréal

Les réviseuses et le réviseur ont été conviés à apporter des commentaires sur la version préfinale de ce document et en conséquence, n'en ont pas révisé ni endossé le contenu final.

L'autrice ainsi que les membres du comité scientifique, les réviseuses et le réviseur ont dûment rempli leurs déclarations d'intérêts et aucune situation à risque de conflits d'intérêts réels, apparents ou potentiels n'a été relevée.

RELECTURE ET MISE EN PAGE

Aurélie Franco, agente administrative
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue ou en écrivant un courriel à : droits.dauteur.inspq@inspq.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

Dépôt légal – 3^e trimestre 2025
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN : 978-2-555-01979-9 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2025)

AVANT-PROPOS

L'Institut national de santé publique du Québec est le centre d'expertise et de référence en matière de santé publique au Québec. Sa mission est de soutenir le ministre de la Santé et des Services sociaux dans sa mission de santé publique. L'Institut a également comme mission, dans la mesure déterminée par le mandat que lui confie le ministre, de soutenir Santé Québec, la Régie régionale de la santé et des services sociaux du Nunavik, le Conseil cri de la santé et des services sociaux de la Baie James et les établissements, dans l'exercice de leur mission de santé publique.

La collection *État des connaissances* rassemble sous une même bannière une variété de productions scientifiques qui synthétisent et communiquent ce que la science nous dit sur une question donnée à l'aide de méthodes rigoureuses de recension et d'analyse des écrits scientifiques et autres informations pertinentes.

La présente synthèse des connaissances porte sur les facteurs de risque environnementaux et individuels qui peuvent influencer la durée ou l'intensité de la saison des pollens ainsi que les allergies qui en découlent. Elle s'intéresse aux effets de ces facteurs sur la saison des pollens ainsi que sur la prévalence des allergies et la sévérité des symptômes. Elle s'adresse au réseau de santé publique du Québec et à ses partenaires.

Ce projet est financé dans le cadre de l'action « Cartographier et diffuser les risques comme les îlots de chaleur, les pollens allergènes et les zoonoses » du [Plan pour une économie verte 2030 \(PEV 2030\)](#), laquelle vise à appuyer les différents acteurs et la population pour mieux prévoir les risques et les vulnérabilités en santé des populations, mieux planifier l'adaptation et mieux communiquer ces risques avec les parties prenantes, à l'aide de cartes accessibles à tous.



TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE	V
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	VI
MESSAGES CLÉS.....	1
RÉSUMÉ	2
1 INTRODUCTION	5
2 MÉTHODOLOGIE	9
3 RÉSULTATS.....	14
3.1 Les facteurs environnementaux	14
3.1.1 Caractéristiques des études.....	14
3.1.2 Résultats des études sur les facteurs environnementaux.....	14
3.2 Les facteurs individuels	26
3.2.1 Caractéristiques des études.....	26
3.2.2 Résultats des études sur les facteurs individuels.....	26
4 DISCUSSION.....	29
4.1 Facteurs météorologiques	29
4.2 Pollution de l'air	31
4.3 Environnement bâti	34
4.4 Facteurs individuels	35
4.5 Limites et biais généraux.....	37
5 CONCLUSION.....	38
RÉFÉRENCES.....	39
ANNEXE 1 STRATÉGIES DE RECHERCHE.....	51
ANNEXE 2 GRILLES D'EXTRACTION ET D'ANALYSE DES ARTICLES INCLUS DANS LA REVUE DE LITTÉRATURE.....	54

GLOSSAIRE

Allergène : substance susceptible de provoquer une réaction allergique.

Allergénicité : capacité que possède une substance, spécifiquement un allergène, à déclencher une réaction allergique.

Allergie : réaction anormale du système immunitaire en raison d'une sensibilisation à un antigène.

Immunoglobuline E (IgE) : anticorps produits par le système immunitaire d'une personne allergique. Les immunoglobulines E sont responsables des symptômes d'allergie.

Incidence : nombre de nouveaux cas d'une maladie dans une population pour une période spécifique.

Pollens allergènes : pollens qui se dispersent dans l'air et qui peuvent déclencher des allergies chez des personnes sensibilisées.

Pollinose : manifestation des symptômes d'allergie en raison de pollens allergènes.

Prévalence : nombre de cas pour une maladie dans la population.

Saison pollinique : saison lors de laquelle des pollens sont présents dans l'air.

Sensibilisation : une première étape dans le développement d'une allergie. Elle se produit à la suite de l'exposition aux allergènes. Une personne sensibilisée produit des immunoglobulines E, mais ne présente pas nécessairement de symptômes d'allergie.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
IgE	Immunoglobuline E
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
NO ₂	Dioxyde d'azote
NO ₃	Nitrate
NO _x	Oxydes d'azote
O ₃	Ozone
PM _{2,5}	Particules fines
PM ₁₀	Particules respirables
SO ₂	Dioxyde de soufre

MESSAGES CLÉS

La prévalence des allergies saisonnières est en augmentation à travers le monde. Ces dernières sont causées par l'exposition aux pollens allergènes dans l'air causant notamment des symptômes de rhinite allergique. Elles peuvent constituer un grand fardeau sur la qualité de vie. Puisque les pollens allergènes issus de plantes se dispersent dans l'air, leur devenir est largement influencé par les conditions atmosphériques et les facteurs environnementaux. La hausse de la prévalence d'allergies pourrait s'expliquer par les modifications du climat liées aux activités humaines qui exerceraient une influence sur la saison des pollens et, ensuite, sur la présence et la manifestation de symptômes d'allergie.

Dans l'objectif d'identifier les facteurs environnementaux et individuels qui influencent la fréquence et l'intensité des allergies saisonnières ou les concentrations et l'allergénicité des pollens présents dans l'air, cette synthèse des connaissances présente les résultats des articles publiés sur le sujet à travers le monde pour la période de 2013 à 2023. En bref :

- La température de l'air et les précipitations annuelles moyennes ont une influence sur la date de début et l'intensité de la saison des pollens. L'augmentation de la température en raison des changements climatiques engendre une préséance de la saison pollinique, un allongement de sa durée ainsi qu'une augmentation de la concentration annuelle totale de pollen.
- Sur une base quotidienne, les journées plus chaudes, sèches et ensoleillées sont généralement celles qui sont associées aux plus grandes concentrations de pollen dans l'air. La présence de précipitations et de niveaux d'humidité élevés dans l'air ambiant est associée à une diminution des concentrations de pollen journalières.
- La pollution de l'air aurait une influence sur l'allergénicité des pollens en raison de leurs interactions avec les polluants atmosphériques. Dans des études épidémiologiques, les concentrations de particules fines et d'ozone sont positivement associées à la sévérité des symptômes journaliers autorapportés. Ainsi, le suivi de la pollution de l'air lors de l'évaluation des conditions environnementales est souvent recommandé pour mieux prédire la sévérité des symptômes.
- Le dioxyde de carbone, un gaz à effet de serre, accroît la biomasse des plantes. Quelques études démontrent que cela mène à une production accrue de pollens chez certaines espèces. Le dioxyde de carbone amplifierait aussi l'allergénicité de certains types de pollen.
- Les facteurs individuels modulant les allergies aux pollens identifiés dans cette revue sont similaires à ceux identifiés pour la rhinite allergique. Les femmes et les jeunes adultes sont plus à risque pour les allergies aux pollens. Les fumeurs ou les enfants exposés à la fumée de cigarette semblent présenter des symptômes plus sévères.

RÉSUMÉ

Contexte

Les pollens allergènes sont des pollens qui se dispersent dans l'air et peuvent provoquer des symptômes de rhinite allergique chez les individus qui y sont allergiques. Ces pollens sont émis par trois grandes familles de végétaux qui présentent des périodes de dispersion spécifiques : les arbres (de fin mars à juin), les graminées (de mai à août) et les herbacées (d'août à octobre). Lors de la saison pollinique, la concentration de pollen dans l'air peut varier de jour en jour; la concentration totale annuelle peut aussi changer d'année en année. Cette variation peut ensuite influencer les individus allergiques. D'ailleurs, dans les dernières années, la prévalence des allergies est en augmentation dans les pays développés. L'une des théories pour expliquer cette augmentation est l'influence accrue de certains facteurs environnementaux, surtout ceux affectés par l'intensification des changements climatiques.

En effet, plusieurs facteurs dans l'environnement peuvent exercer une influence sur les pollens et une connaissance accrue de ces facteurs peut permettre de mieux prédire l'évolution des saisons polliniques et des concentrations de pollen. Il est aussi important de connaître les facteurs de risque individuels. L'objectif de cette revue est donc d'identifier les différents facteurs pouvant modifier la durée et l'intensité de la saison pollinique ainsi que l'allergénicité des pollens dans l'air ou la prévalence ou la sévérité des allergies causée par ces pollens.

Méthodologie

Une revue de littérature narrative systématisée a été effectuée pour répondre à cet objectif. Deux stratégies distinctes ont été élaborées : une première portant sur les facteurs de risque environnementaux et une deuxième sur les facteurs de risque individuels associés aux allergies aux pollens. Les deux stratégies de recherche ont été lancées dans les bases de données Medline (OVID) et Global Health (OVID), le 26 mai 2023 pour les facteurs environnementaux et le 13 juin 2023 pour les facteurs individuels.

Les critères d'inclusion pour les études ont été les suivants : 1) des allergies aux pollens en général ou des pollens allergènes dans l'air; 2) des facteurs dans l'environnement autres que les pollens qui pourraient influencer ces derniers, ou des facteurs individuels qui pourraient faire varier la prévalence ou la sévérité des allergies aux pollens. Les articles retenus devaient aussi être : 3) des études réalisées sur les territoires de l'Amérique du Nord, de l'Europe, de l'Asie ou de l'Australie; 4) des études dites primaires (ou originales); 5) des études publiées de 2013 à 2023; 6) des études publiées en anglais ou en français.

Résultats

Un total de 79 études portant sur les facteurs environnementaux et de 12 études portant sur les facteurs de risque individuels ont été retenues. Les sujets des études ont inclus les facteurs météorologiques, les changements climatiques, la pollution de l'air et l'environnement bâti. La majorité des études répertoriées n'ont considéré que des mesures environnementales, quelques études étaient de type épidémiologique et d'autres, enfin, ont été effectuées en laboratoire. Pour les facteurs individuels, les équipes de recherche ont généralement mesuré la prévalence de plusieurs facteurs de risque individuels incluant entre autres le sexe, l'âge, la présence d'allergies chez les parents, les habitudes tabagiques et le statut d'immigration.

Les paramètres météorologiques influencent la libération de pollen par les plantes et ils peuvent faciliter ou entraver leur dispersion une fois dans l'air ambiant. Généralement, les études ont démontré que les journées les plus chaudes, sèches et ensoleillées sont celles présentant les plus fortes concentrations de pollen dans l'air lors de la saison pollinique. Les précipitations et le niveau élevé d'humidité contribueraient à atténuer la concentration de pollen dans l'air, tandis que le vent aurait un effet variable en fonction du contexte et du milieu.

En considérant les facteurs météorologiques annuels, il est généralement démontré qu'une augmentation de température est associée à une hausse de l'intensité de la saison pollinique (tous types de pollens confondus), à un début plus hâtif de la saison pollinique et, dans certains cas, à un allongement de cette saison. Les précipitations en amont de la saison des pollens peuvent être associées, dans certaines situations, à une augmentation de concentration de pollen plus tard dans la saison. D'ailleurs, quelques études ont aussi démontré que les régions les plus chaudes semblent être associées à une plus grande prévalence de rhinite allergique saisonnière (rhume des foins) en raison des effets de la température sur la saison du pollen.

Ensuite, les études révèlent que la pollution de l'air aurait surtout un effet sur l'allergénicité (le potentiel allergisant) des pollens présents dans l'air. Plusieurs études en laboratoire ont mesuré la quantité d'allergènes présents sur le grain de pollen ou la réactivité des immunoglobulines sanguines de type E au regard des allergènes polliniques. Une augmentation de l'allergénicité de plusieurs types de pollen est observée, lorsque les grains de pollen sont exposés à des concentrations variables de nitrate et de dioxyde de carbone et, dans certains cas, d'ozone.

Il existe une association entre la pollution de l'air et les symptômes journaliers liés aux pollens ou les consultations en clinique. Les jours de plus fortes concentrations d'ozone connaissent le plus de symptômes sévères autorapportés, surtout pour la saison des graminées par temps plus chaud. La hausse des concentrations de particules fines dans l'air ambiant est associée à une augmentation des consultations en clinique pour les allergies. Aucune association n'a été observée entre la sévérité des symptômes et les concentrations de dioxyde d'azote atmosphériques, malgré les résultats obtenus en laboratoire qui démontrent une augmentation de l'allergénicité. Les mécanismes qui altèreraient l'allergénicité des pollens par les polluants incluent la modification de la viabilité et de la germination des grains de pollen, l'altération de certaines protéines qui facilite ensuite la réaction immunologique, ou un changement des

caractéristiques physicochimiques causant par la suite une libération de l'allergène dans l'air. Il existe aussi des interactions entre les polluants de l'air et le système immunitaire humain qui peuvent ensuite exacerber ou aggraver les symptômes d'allergie aux pollens.

L'environnement urbain influe aussi sur la présence et la concentration des pollens. Par exemple, les milieux semi-urbains présenteraient des concentrations de pollen (tous types confondus) plus importantes que les milieux urbains. Cela dit, certains types de pollen peuvent être présents en plus grande quantité dans les villes selon les espèces végétales qui ont été plantées. Certains milieux urbains peuvent aussi promouvoir la croissance de certaines plantes indésirables, comme l'herbe à poux. Certaines études révèlent une association entre la proximité d'espaces verts ou de la canopée présente près de la résidence des participants et la sensibilisation aux pollens allergènes, mais cette même association n'a pas été observée pour la rhinite allergique saisonnière. Au niveau des symptômes, dans certains cas, les espaces verts sembleraient protéger contre la manifestation de symptômes sévères ainsi que des hospitalisations pour l'asthme. Cependant, une augmentation de la sévérité des symptômes est observée lorsque l'on considère certains arbres connus comme étant allergisants.

Moins d'études portant sur les facteurs individuels ont été retenues, s'expliquant possiblement par les critères d'inclusion et d'exclusion retenant seulement les études ayant des données spécifiques à la rhinite allergique saisonnière causée par les pollens et non toutes causes confondues, qui est plus étudiée. Pour les facteurs individuels, les enfants de sexe masculin, les enfants plus âgés et ceux avec des parents allergiques étaient davantage sensibilisés aux pollens allergènes. Pour les adultes, être une femme et être plus jeune est associé aux allergies aux pollens. Les facteurs modifiables ou les comportementaux liés à la présence d'allergie aux pollens sont peu étudiés, mais l'exposition primaire à la fumée de cigarette chez les adultes et l'exposition secondaire chez les enfants allergiques peuvent être liées à la sévérité des symptômes. Concernant les facteurs considérés protecteurs contre la manifestation d'allergie aux pollens, comme les animaux de compagnie, les résultats sont mitigés.

Conclusion

Les études considérées dans cette revue ont démontré que les concentrations de pollen journalières et annuelles sont influencées par la température et plusieurs autres facteurs environnementaux. De plus, la sévérité des symptômes journaliers liés à la rhinite allergique peut être influencée par certains polluants atmosphériques, notamment les particules fines et l'ozone, et ce, à des concentrations sous les seuils considérés comme sécuritaires pour la santé humaine. Au niveau annuel, les changements climatiques font en sorte qu'au fur et à mesure que la température annuelle augmente, l'intensité de la saison pollinique est en hausse et le début de la saison est avancé. Cela dit, les résultats peuvent changer dépendamment de la région, du type de pollen et de plante ainsi que de leur niche écologique. Dans certains cas, la température pourrait avoir un effet négatif sur la croissance de certaines plantes et, donc, sur les pollens si la température devient trop chaude, mais en général, lorsque l'on considère tous les pollens, l'augmentation est marquée.

1 INTRODUCTION

Il est estimé qu'une personne sur cinq au Québec souffre de rhinite allergique saisonnière (1) et la prévalence des allergies aux pollens dans la population canadienne serait de 20-25 % (2). La rhinite allergique saisonnière, communément appelée « rhume des foins », est un type de rhinite allergique causée par les pollens allergènes qui peut avoir un effet néfaste sur la santé des individus lors de la saison pollinique. Avant de développer des symptômes d'allergie aux pollens, les individus doivent premièrement être sensibilisés lors de contacts avec les allergènes de pollen. Une personne sensibilisée produit ensuite des immunoglobulines de type E (IgE) sanguines qui reconnaîtront les allergènes d'un ou de plusieurs types de pollen lors d'un prochain contact (3). Cet effet est d'autant plus marqué chez les personnes présentant une prédisposition génétique au développement d'allergie, appelée atopie; leur système immunitaire produit alors beaucoup d'IgE contre les allergènes de tous types (4). L'herbe à poux (aussi connue sous le nom d'ambrosie) est une plante produisant un des pollens les plus problématiques au Québec. En effet, il est estimé que l'herbe à poux causerait entre 50 et 90 % des allergies aux pollens (5).

Les symptômes d'allergie peuvent se présenter sous forme de rhinite allergique, incluant l'écoulement nasal, les éternuements, une congestion nasale, les maux de tête ou une démangeaison du nez, des oreilles et de la gorge (1), ou encore sous forme de conjonctivite (rougeur oculaire, larmolement, démangeaisons). De plus, chez les individus asthmatiques, une exposition au pollen peut déclencher des symptômes d'asthme ou les aggraver (1). À l'échelle du Canada, il est estimé que deux tiers des individus avec de l'asthme sont aussi allergiques aux aéroallergènes¹ (2). Les symptômes de la rhinite allergique saisonnière peuvent aussi nuire à la qualité de vie et la productivité au travail ou à l'école des individus affectés. En effet, les symptômes de rhinite allergique peuvent mener à de la fatigue, de l'irritabilité, des problèmes de sommeil et des problèmes de concentration (1). Certaines personnes peuvent aussi souffrir du syndrome d'allergie orale, une allergie alimentaire à certains fruits, légumes frais ou noix, en raison d'une réactivité croisée avec certaines protéines qui ressemblent aux allergènes de pollen (7).

¹ Particule aéroportée dans l'air qui peut provoquer des problèmes respiratoires ou cutanés. Les aéroallergènes incluent la poussière, les spores de moisissures et les pollens (6).

Les pollens allergènes

Les pollens sont des grains de petite taille qui peuvent se disperser dans l'air ou l'eau ou encore être transportés par d'autres vecteurs comme les insectes. Ils font partie du cycle de reproduction des plantes. Lorsque le pollen se dépose dans le pistil² de la fleur, cela permet la formation de graines et, éventuellement, d'une nouvelle plante. Ce sont les pollens qui se dispersent dans l'air (dits anémophiles) qui sont allergènes (3).

Au Québec, la saison des pollens s'étend généralement de mars à octobre, mais peut varier en fonction de la région et de l'année (9). Les plantes produisant des pollens allergènes peuvent être divisées en trois catégories : les arbres (ex. érable, bouleau, orme), les graminées (ex. gazon) et les herbacées (ex. l'herbe à poux). Les pollens d'arbres sont présents de mars à juin, les pollens de graminées de mai à août et les pollens d'herbacées d'août à octobre (9). Chaque type de plante produit des grains de pollen qui contiennent des protéines allergènes spécifiques qui pourront être reconnues par le système immunitaire et déclencheront des allergies chez les personnes sensibilisées.

La rhinite allergique saisonnière se manifeste lorsqu'une personne sensibilisée à un pollen y est exposée dans l'environnement. Il est possible d'être affecté par plusieurs types de pollens allergènes. Selon une enquête de l'Observatoire québécois de l'adaptation aux changements climatiques (OQACC) effectuée auprès de 1 659 Québécois en 2019, près de 57 % des individus allergiques sondés seraient allergiques au pollen de plusieurs familles (ex. graminées et herbacées) (10).

L'influence des changements climatiques

La prévalence de la rhinite allergique en général, et des allergies aux pollens en particulier, est en augmentation dans les pays industrialisés. Cette augmentation de sensibilisation aux aéroallergènes ne peut être attribuable uniquement à des changements de prédisposition génétique aux allergies (2). Une des hypothèses proposées pour expliquer cette hausse de prévalence est que les modifications du climat liées aux activités humaines (dites anthropiques) exerceraient une influence sur le développement d'allergies aux aéroallergènes. Plus spécifiquement, les changements de température, l'augmentation de la concentration atmosphérique du dioxyde de carbone (CO₂) et la présence de certains polluants dans l'air auraient une influence sur la quantité et le potentiel allergisant des pollens ainsi que sur la prévalence des allergies (2,11,12).

En effet, les plantes produisant des pollens allergènes sont facilement influencées par les facteurs environnementaux comme les paramètres météorologiques, en particulier l'augmentation de la température. À Montréal, un allongement de la saison pollinique de l'herbe à poux (de 42 à 68 jours) entre les années 1994 et 2002 a déjà été constaté (12,13). De plus, la distribution de certaines plantes, notamment de l'herbe à poux, est en expansion. Il est estimé

² Organe femelle de la fleur qui forme une cavité et renferme des ovules (8).

qu'en 2015, 75 % de la population québécoise habitait dans des régions où l'herbe à poux pouvait croître. Mais ce pourcentage pourrait augmenter à 95 % d'ici 2050 en raison de la hausse des températures qui permettra son expansion vers le nord du Québec (12,14). Des augmentations des concentrations de CO₂ et de la température auraient aussi une influence sur la biomasse des végétaux, ce qui augmenterait ensuite la production de pollens (2,12). Les changements climatiques et l'augmentation de CO₂ entraîneraient donc un allongement de la saison des pollens, une expansion territoriale de plusieurs types de plantes produisant du pollen et, finalement, l'augmentation des concentrations de pollen (15,16). Ces effets sur la durée de la saison du pollen et sur leur expansion territoriale mèneraient ensuite à une augmentation du nombre de personnes exposées au pollen et à une augmentation de la sévérité des symptômes en raison de la hausse des concentrations de pollen.

Également, certaines pratiques de verdissement en milieu urbain peuvent faire augmenter la concentration de certains types de pollen dans l'air. Par exemple, cela peut survenir lorsque l'on plante trop d'arbres d'une même espèce ou de sexe mâle. Ce sont en effet les arbres mâles qui produisent les pollens (12). Aussi, l'herbe à poux, qui produit un des pollens les plus allergisants au Québec, croît bien dans les milieux très ensoleillés, avec peu de végétation et des sols peu fertiles, comme sur les bords des rues et sur les terrains vacants ou industriels (17). Il est donc important d'entretenir ces environnements pour réduire les quantités présentes d'herbe à poux.

Objectif de cette synthèse des connaissances

En raison des changements environnementaux, il est attendu que la prévalence et la sévérité des allergies aux pollens deviennent plus importantes au Québec et ailleurs dans le monde. Il est donc nécessaire de bien comprendre comment certains facteurs environnementaux et climatiques agissent sur les pollens et impactent les individus allergiques afin de mieux anticiper leurs effets. De plus, ces connaissances pourraient renforcer les capacités de cartographie et améliorer les modèles de prévision des niveaux de pollen dans l'air, en intégrant une compréhension plus fine des facteurs influents. Enfin, il est important d'identifier les individus les plus à risque d'être affectés par les allergies aux pollens pour mieux orienter les messages et les interventions de santé publique. **L'objectif de ce rapport est donc d'identifier les différents facteurs pouvant modifier les concentrations des pollens dans l'air ou les allergies qui en découlent en dressant un portrait de la littérature existante sur ces sujets.**

Puisque l'objectif est d'identifier un maximum de facteurs, cette revue a inclus des études provenant de pays industrialisés publiées dans plusieurs régions du monde. Les résultats de cette revue ne seront donc pas toujours généralisables au contexte québécois, mais celui-ci sera abordé dans la discussion.

Question de recherche

La question de recherche abordée dans le cadre de cette revue est la suivante : **quels sont les facteurs de risque qui influencent la prévalence et la sévérité des allergies aux pollens dans la population?**

Deux sous-questions ont ensuite été élaborées :

1. Quels sont les facteurs de risque environnementaux qui influencent la concentration de pollen dans l'air ou la prévalence et la sévérité des allergies aux pollens dans la population?
2. Quels sont les facteurs de risque individuels qui influencent la prévalence et la sévérité des allergies aux pollens dans la population?

2 MÉTHODOLOGIE

Stratégie de recherche documentaire

La revue de littérature effectuée est de type narratif systématisé³. La stratégie de recherche élaborée avec l'appui des professionnels du service documentaire de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) repose sur deux concepts clés : le premier correspond aux pollens allergènes et aux allergies à ceux-ci; le deuxième cible les facteurs de risque susceptibles d'influencer la manifestation d'allergie et la présence de pollen dans l'air. Deux stratégies distinctes ont été élaborées. Une première a été développée afin d'identifier les facteurs de risque environnementaux et une deuxième a été développée afin d'identifier les facteurs de risques individuels. Une telle approche a permis de mieux circonscrire les termes importants et les mots clés pour chaque type de facteur de risque. Les deux stratégies de recherche ont été lancées en anglais et la liste des mots clés pour le concept de pollen comprenait : « pollen allergène », « rhinite allergique saisonnière » et « rhume des foins ». Pour le concept de facteurs environnementaux, les mots clés retenus incluaient : « changements climatiques », « pollution de l'air » et « environnement bâti ». Enfin, ceux retenus pour les facteurs individuels étaient : « déterminants biologiques », « facteurs socioéconomiques » et « comportements ».

La stratégie de recherche pour les facteurs environnementaux a été lancée le 26 mai 2023 dans les bases de données Medline (OVID) et Global Health (OVID) (voir annexe 1, tableau A1-1). La stratégie de recherche pour les facteurs individuels a été lancée le 13 juin 2023 dans ces mêmes bases de données (voir annexe 1, tableau A1-2).

Critère d'inclusion et d'exclusion

Les critères d'inclusion et d'exclusion retenus aux fins de cette étude ont été choisis afin de mieux circonscrire les informations permettant de répondre précisément à la question de recherche et aux deux sous-questions.

Les articles recherchés ont été ceux publiés entre 2013 et 2023, puisque, en 2013, un état des connaissances sur les pollens allergènes intitulé *État des connaissances sur le pollen et les allergies* a été publié par l'INSPQ (3). Bien que cet état des connaissances ne soit pas lié à la présente revue, il a servi de point de départ. De plus, en raison de la littérature limitée provenant des États-Unis et du Canada au sujet des pollens allergènes et pour ne pas manquer de potentiels facteurs de risque, les régions géographiques suivantes avec des pays industrialisés ont été retenues : l'Europe, l'Amérique du Nord, l'Asie et l'Australie.

³ Une revue de littérature systématisée est une revue narrative qui permet de répertorier des articles originaux d'intérêts de façon plus systématique que les approches généralement préconisées dans la réalisation de revues narratives traditionnelles. Contrairement aux revues narratives traditionnelles, la méthodologie d'une revue narrative systématisée est décrite explicitement (18).

En ce qui concerne les facteurs de risque environnementaux qui influencent la concentration des pollens dans l'air ainsi que la prévalence et la sévérité des allergies aux pollens dans la population, les articles retenus devaient traiter : 1) des allergies aux pollens en général ou des pollens allergènes dans l'air ; 2) des facteurs dans l'environnement autres que les pollens (ex. facteurs météorologiques, pollution de l'air, etc.) qui pourraient influencer ces derniers. Les articles retenus devaient aussi être : 3) des études réalisées sur les territoires de l'Amérique du Nord, de l'Europe, de l'Asie ou de l'Australie ; 4) des études dites primaires (ou originales) ; 5) des études publiées entre 2013 et 2023 ; 6) des études publiées en anglais ou en français (tableau 1).

Les critères d'inclusion qui concernent la recherche des facteurs de risque individuels qui influencent la prévalence et l'intensité des allergies aux pollens dans la population regroupaient les critères 3 à 6 mentionnés ci-dessus, auxquels s'ajoute la rétention des études qui portaient sur : 1) les allergies ou la sensibilisation aux pollens ; 2) les facteurs individuels qui pourraient faire varier la prévalence ou la sévérité des allergies aux pollens chez certaines personnes (ex. âge, sexe, statut socioéconomique, etc.) (tableau 2).

Tableau 1 Critères d'inclusion pour les études au sujet des facteurs de risque environnementaux

Critères	Inclus si	Exclus si
L'étude mesure-t-elle : la prévalence ou la sévérité de la rhinite allergique saisonnière (rhume des foins) ou l'asthme causé par les pollens? OU la concentration ou l'allergénicité des pollens allergènes dans l'air?	Oui	Non
L'étude mesure-t-elle les associations entre les mesures ci-dessus et les facteurs dans l'environnement?	Oui	Non
Localisation géographique	Amérique du Nord, Europe, Asie, Australie	Autres pays
Type d'études	Études primaires	Autres types d'études

Tableau 2 Critères d'inclusion pour les études au sujet des facteurs de risque individuels

Critères	Inclus si	Exclus si
L'étude s'intéresse-t-elle aux caractéristiques individuelles?	Oui	Non
L'étude s'intéresse-t-elle à : la prévalence ou à la sévérité de la rhinite allergique saisonnière (ou rhume des foins) ou à l'asthme causé par les pollens?	Oui	Non
Localisation géographique	Amérique du Nord, Europe, Asie, Australie	Autres pays
Type d'études	Études primaires	Autres types d'études

Les études portant uniquement sur la rhinite allergique de toute cause sans étudier spécifiquement les allergies aux pollens (rhinite allergique saisonnière) ont été exclues. De plus, les études expérimentales utilisant des animaux pour les tests de sensibilisation aux pollens ont été exclues, car la réponse physiologique des humains lors d'une exposition aux pollens pourrait être différente de celle des animaux modèles. Tous les types de pollen ont été inclus, à l'exception des plantes ne pouvant pas croître ou étant rarement retrouvées au Canada (ex. plantation d'olivier). Les études ne présentant pas la significativité statistique de leurs résultats ont aussi été exclues. Dernièrement, certaines études pour les facteurs individuels ont été exclues en raison de leur manque de pertinence en santé publique ou parce qu'elles n'étaient pas généralisables à la population générale (ex. femmes enceintes).

Tri et extraction

Deux tris ont été effectués par une personne : un premier tri de titres et de résumés pour identifier les études pertinentes avec l'aide de l'outil Rayyan et un second tri de lecture complète d'articles pour confirmer la présence des critères d'inclusion ou d'exclusion effectué dans un tableur Excel. Pour les études incluses lors du second tri, la grille d'extraction utilisée incluait des informations sur les auteurs, la date de publication, l'objectif de l'étude, le type de mesures de pollen/allergies aux pollens, le type de facteurs de risque étudié, la population (le cas échéant), le devis et les résultats pertinents. Les résultats des deux tris avec les raisons d'exclusion sont présentés pour les deux stratégies de recherche dans les diagrammes de flux PRISMA (figure 1 et figure 2 p. 12-13). Une forme abrégée de la grille d'extraction est présentée dans les tableaux à l'annexe 2.

Figure 1 Diagramme de flux PRISMA présentant les étapes du tri pour la stratégie de recherche sur les facteurs environnementaux

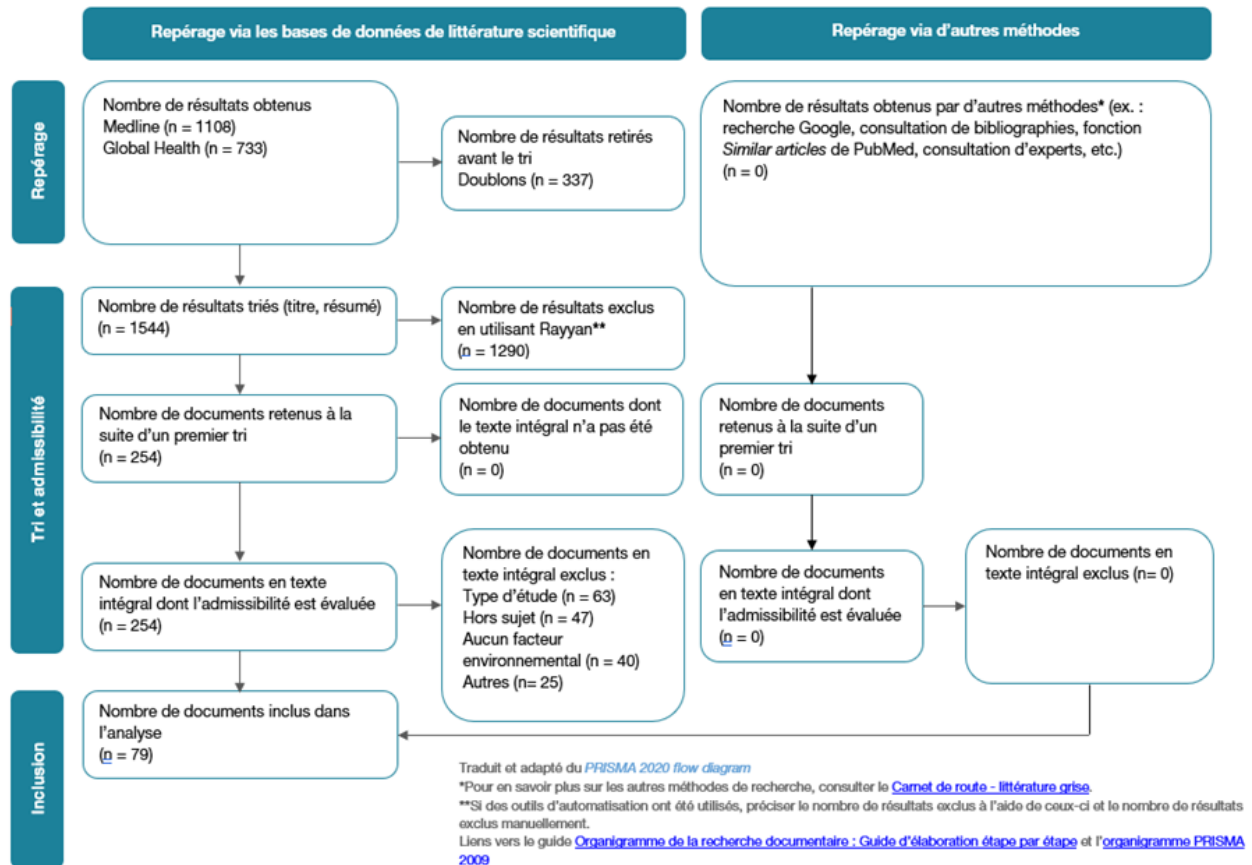
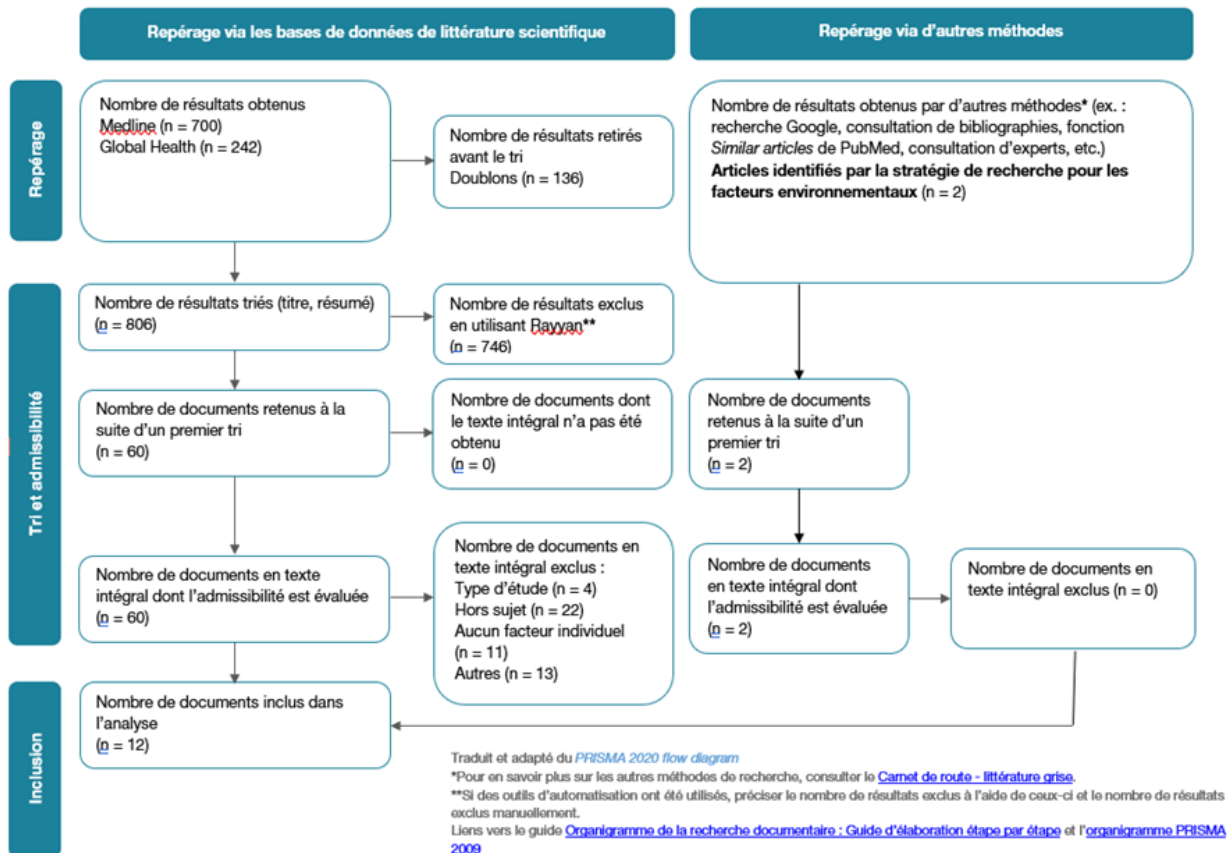


Figure 2 Diagramme de flux PRISMA présentant les étapes du tri pour la stratégie de recherche sur les facteurs individuels



3 RÉSULTATS

Pour les facteurs environnementaux influençant la concentration de pollen dans l'air ainsi que la prévalence et l'intensité des allergies aux pollens dans la population (sous-question de recherche n° 1), 1 544 études ont été identifiées après l'élimination des doublons. Lors du premier tri, 254 études ont été retenues, puis 79 études ont été conservées après le second tri (figure 1 p. 12).

Pour les facteurs de risque individuels influençant la prévalence et l'intensité des allergies aux pollens (sous-question de recherche n° 2), 806 études ont été identifiées après l'élimination des doublons. Le premier tri a permis de retenir 60 études, et 10 études ont été conservées à l'issue du second tri. Deux études supplémentaires ont été ajoutées après avoir été repérées dans la stratégie de recherche pour les facteurs environnementaux (figure 2 p. 13).

3.1 Les facteurs environnementaux

3.1.1 Caractéristiques des études

Les auteurs des 79 études au sujet des facteurs environnementaux identifiés dans cette revue se sont intéressés à plusieurs types de facteurs de risque qui peuvent être divisés en trois catégories : les études au sujet de la pollution de l'air atmosphérique, les études sur les facteurs météorologiques et les études au sujet de l'environnement bâti et le milieu urbain. Certains articles ont étudié plus d'un type de facteur de risque. La majorité des études sont de type environnemental (n = 43), c'est-à-dire avec l'objectif de mesurer les concentrations de pollen dans l'air par rapport aux facteurs de risque. D'autres études sont de type épidémiologique observationnel (n = 20). Finalement, une minorité des études sont de type expérimental (n = 16), réalisées en laboratoire avec des plantes produisant des pollens. Les régions de publications sont aussi très diversifiées. La majorité des études retenues ont été publiées en Europe (n = 52), les autres en Amérique du Nord (n = 16), en Asie (n = 7), en Australie (n = 3) et dans l'hémisphère Nord au complet (n = 1).

3.1.2 Résultats des études sur les facteurs environnementaux

3.1.2.1 Les facteurs météorologiques et les concentrations de pollen dans l'air

Un total de 35 études environnementales sur les facteurs météorologiques ont été identifiées dans le cadre de cette revue. Ces études couvrent une période d'une ou de plusieurs années et peuvent être divisées en trois sous-groupes, soit les études à court terme (moins de 10 ans) (n = 14), les études à long terme (10 ans et plus) avec seulement une station d'échantillonnage de pollen (n = 13) et les études à long terme avec plusieurs stations de capteurs (n = 8) (voir annexe 2, tableaux A2-1, A2-2 et A2-3). En général, les auteurs des études à long terme ont eu comme objectif d'étudier l'influence des variations de température causées par les changements climatiques sur les concentrations de pollen. Les méthodes de collecte des pollens dans l'air

employées par les chercheurs étaient variables, mais la majorité (30/35) ont été de type volumétrique⁴ (ex. Lanzoni, Burkard).

La température de l'air ambiant et les concentrations de pollen

Toutes les 35 études sur les facteurs météorologiques ont évalué l'influence de la température de l'air ambiant sur les concentrations journalières ou annuelles de pollen présent dans l'air extérieur. Plusieurs des auteurs ont étudié la température et le pollen sur une base journalière et ont identifié des associations positives entre la température et la concentration de pollen dans l'air pour au moins un type de pollen allergène (18/20) (19–36). Autrement dit, dans ces études, lorsque la température augmentait, la concentration de pollen dans l'air augmentait aussi. De plus, dans ces études, la température était souvent citée comme étant le facteur météorologique le plus important pour prédire les concentrations de pollen dans l'air au quotidien (30,37).

L'augmentation de concentration de pollen en lien avec la température de l'air ambiant a aussi été observée dans les études menées sur de plus longues périodes, sur une base annuelle ou saisonnière. En effet, la majorité de ces études (10/15) révèle une association similaire à celle au quotidien, c'est-à-dire que lorsque la température annuelle augmente, la concentration totale de pollen d'au moins un type de pollen augmente aussi (20,38–43). Par exemple, Anderegg *et al.* (44) ont suivi les concentrations de pollen (tous types confondus) en Amérique du Nord sur 28 années consécutives, de façon rétrospective, afin de documenter les effets des changements climatiques sur les concentrations de pollen. Ils ont conclu que l'augmentation de température, surtout la médiane de la température annuelle, était le facteur le plus important pour expliquer la tendance à la hausse des concentrations totales de pollen dans l'air (44). La plus importante hausse de pollen a été observée au Midwest des États-Unis, et surtout pour les pollens provenant d'arbres. De la même façon, un autre groupe de chercheurs impliqués dans la réalisation d'une grande étude rétrospective s'est intéressé à l'effet de la hausse de température sur la concentration des pollens dans l'air. Cette étude a été effectuée sur la base d'échantillons de pollens prélevés à l'aide de 17 stations distribuées dans 12 pays de l'hémisphère Nord, sur une période de 26 ans. Ils ont observé que la tendance à la hausse des températures maximales et minimales était significativement liée à l'augmentation de pollen total pour l'année (42).

Cela dit, les résultats de certaines études ont permis d'observer des associations plus mitigées entre l'augmentation de la température et les concentrations de pollen. Ces associations étaient parfois positives pour certains types de pollen et négatives pour d'autres (22,25,26,45). Par exemple, Besancenot *et al.* (45) ont observé qu'une augmentation de la température de l'air ambiant annuelle de l'année précédente en raison de changement climatique était liée à une augmentation des concentrations de pollen de bouleau (*Betula*), mais que cette hausse de température avait l'effet inverse sur le pollen de graminées. En effet, ils ont noté une diminution de la concentration annuelle moyenne de pollen de graminées au cours des 28 ans de l'étude et celle-ci était corrélée de façon significative à la hausse concourante des températures moyennes

⁴ Le capteur volumétrique aspire de l'air de façon continue à la vitesse de la respiration humaine moyenne (10 litres d'air par minute). Une bande adhésive recueille les pollens à une vitesse stable, de sorte qu'une longueur de bande corresponde aux concentrations de pollen pour 24 h (3).

recensées (45). Les auteurs mentionnent que de telles observations de diminution pour les graminées pourraient être attribuables à l'augmentation de l'urbanisation ainsi qu'à l'évolution des pratiques agricoles.

D'autres auteurs ont également conclu que la température de l'air ambiant peut modifier différemment les concentrations de pollen en fonction du moment de l'année. En effet, une étude menée sur une période de 11 ans au Royaume-Uni, qui a porté sur la mesure des pollens sur neuf sites, a permis d'observer que les corrélations entre la température journalière (minimale, maximale et moyenne) et les concentrations journalières de tous types de pollens étaient positives pour la majorité des stations d'échantillonnage en début de saison, c'est à dire avant le pic maximal de concentration pour la saison. Cependant, plus tard dans la saison, les associations entre la température de l'air et la concentration de pollen s'avéraient négatives pour les graminées et les arbres pour la majorité des stations d'échantillonnage (37). Par ailleurs, plusieurs autres études ont aussi observé que les températures moyennes répertoriées en dehors de la saison pollinique (surtout au printemps) jouaient également un rôle dans le déclenchement et l'intensité de la saison pollinique suivante (40,43,46,47). Toutefois, dans certains cas, l'association entre la température de la saison précédente et la concentration de pollen observée était négative (46,47).

Le volume de précipitations et les concentrations de pollen dans l'air ambiant

Le volume des précipitations atteignant le sol est un autre facteur étudié en lien avec la concentration de pollen dans 20 études considérées dans cette revue. La majorité des auteurs ($n = 15$) ont observé une diminution des concentrations journalières de pollen lors d'épisodes de précipitations (20,22,23,25,28–30,32–34,36–39,48). Selon Khwarahm *et al.* (37), la pluie contribuerait à lessiver les grains de pollen présents dans l'atmosphère. Ils mentionnent aussi que certains pollens peuvent être lessivés de l'air plus rapidement que d'autres dépendamment de leurs caractéristiques morphologiques (37). D'ailleurs, Flonard *et al.* (32) ont étudié l'influence de plusieurs facteurs météorologiques sur la concentration de pollen d'arbres (cyprès). Ils ont observé qu'une augmentation du volume de précipitations quotidiennes était associée à une diminution de la concentration pollinique quotidienne (32). Cette association négative avec la précipitation a été identifiée pour d'autres types de pollens d'arbres, d'herbacées et de graminées dans d'autres études (20,30,37). Toutefois, les résultats d'un petit nombre d'études ont montré des corrélations non significatives entre la concentration de pollen journalière présente dans l'air ambiant et le volume de précipitation quotidien ($n = 3$) (21,27,48).

Certaines études suggèrent aussi que les volumes de précipitation hors saison pollinique ou durant l'année entière peuvent influencer les concentrations de pollen. En effet, une étude menée aux États-Unis sur plusieurs années a permis d'observer qu'une augmentation du volume de précipitation reçu en automne l'année précédente était associée à une augmentation de la concentration journalière de pollen de pins et d'herbacées au printemps (49). Les auteurs d'une autre étude en Allemagne ont aussi observé qu'une augmentation de précipitation au printemps était corrélée à l'intensité de la saison de graminée (50). Finalement, les auteurs d'une étude réalisée aux États-Unis, utilisant des données des deux dernières décennies, ont tiré

deux conclusions relatives à l'influence du volume de précipitations annuelles. Lorsque l'augmentation de ce volume était inférieure à 100 mm de la moyenne normale, elle atténuait les concentrations de pollen dans l'air en éliminant davantage les pollens en suspension. À l'inverse, lorsque cette augmentation était supérieure à 100 mm pour l'année, l'association devenait positive et la concentration de pollen dans l'air augmentait. L'explication avancée est qu'une forte augmentation des précipitations peut favoriser la croissance et l'expansion de l'habitat des plantes allergènes et ainsi augmenter la production de pollen en suspension dans l'air. Les auteurs concluent donc que si les tendances d'augmentation de température et de précipitation observées en lien avec les changements climatiques se poursuivent, cela pourrait mener à une saison de pollen plus précoce et plus intense (41).

L'intensité du rayonnement solaire et les concentrations de pollen dans l'air

En plus de la température ambiante et des volumes de précipitation reçus, plusieurs auteurs (10 études) ont aussi analysé les associations entre l'intensité du rayonnement solaire (surtout le nombre d'heures d'ensoleillement) et les concentrations de pollen dans l'air extérieur. Le rayonnement solaire est peu influencé par les changements climatiques, mais ses variations semblent avoir un impact sur les concentrations de pollen dans l'air. Neuf des dix études traitant de ce phénomène rapportent une association positive entre l'intensité du rayonnement solaire et les concentrations de pollen dans l'air, et ce, pour toutes les familles de pollens (21,22,31,34–37,39,51). Par exemple, les auteurs d'une étude portant sur les facteurs météorologiques et les concentrations de pollen de graminées et d'arbres au Royaume-Uni ont observé que les facteurs les plus importants pour anticiper la charge de pollen dans l'air extérieur étaient la température quotidienne (min., max., moyenne), le volume de précipitation et le nombre d'heures d'ensoleillement quotidien. Ils ont ainsi observé une corrélation positive entre le nombre d'heures d'ensoleillement et les concentrations de pollen de graminées dans l'air. Cependant, les résultats pour les arbres (bouleau) étaient plus mitigés (37). Dans quelques études incluses dans cette revue (n = 3), l'association entre l'intensité du rayonnement ou le nombre d'heures d'ensoleillement quotidien était non significative (48) ou présentait différentes tendances dépendamment du type de pollen (22,36).

L'humidité relative et les concentrations de pollen

En ce qui concerne l'humidité relative de l'air ambiant, les associations étaient généralement cohérentes avec celles observées pour les précipitations, ces deux variables étant souvent liées. En effet, presque toutes les études retenues mesurant l'humidité (n = 16) indiquent qu'une augmentation de l'humidité relative est associée à une diminution des concentrations de pollen dans l'air (19,21–26,28,29,31,32,34,36,38,39). Une seule étude n'a observé aucune association significative entre ces variables (48), tandis qu'une autre a rapporté une association positive pour une des années étudiées (27). Selon une étude ayant rapporté cette diminution des concentrations journalières avec l'augmentation de l'humidité relative, l'humidité de l'air exercerait une influence sur la floraison. Plus précisément, elle mènerait à une suppression de l'anthèse (ouverture de la fleur), ce qui réduirait la libération des pollens (24).

Le vent et les concentrations de pollen

Les associations entre le vent et les concentrations de pollen rapportées dans les études consultées sont généralement mitigées. Les auteurs de plusieurs études ont rapporté des associations significatives avec la vitesse du vent et les concentrations de pollen quotidiennes dans l'air, mais ces associations étaient parfois négatives (28,31,36–38), parfois positives (24,26,29,32) ou encore positives pour certains pollens, mais négatives pour d'autres (22,23,34). Quelques associations étaient aussi non significatives (19,21). Par exemple, Khwarahm *et al.* (37) ont observé un plus grand nombre de corrélations journalières significatives négatives que positives pour les pollens de graminées et de bouleaux avec la vitesse du vent au cours de 11 années de suivi. Les auteurs mentionnent que cela peut découler de l'effet de dispersion des pollens par le vent qui peut transporter les pollens au loin, mais qui peut aussi réduire la concentration de pollen dans un endroit spécifique. Cependant, la direction du vent et la localisation des sources de pollen par rapport aux capteurs sont aussi très importantes à considérer et peuvent faire changer la direction des associations (37).

Les paramètres météorologiques et le début et la fin de la saison du pollen

Plusieurs chercheurs ont aussi observé des changements relatifs aux dates de début et de fin de la saison pollinique, ainsi qu'à la longueur de la saison pour certains pollens ($n = 7$). En effet, les auteurs des études considérées dans cette revue ont surtout identifié des débuts de saison précoces lors de températures plus chaudes, surtout pour la saison du pollen d'arbres qui commence au printemps (41,49,50,52,53). Ils ont aussi parfois observé un prolongement de plusieurs jours de la saison du pollen en lien avec l'augmentation de la température annuelle (44,47). Par exemple, les auteurs d'une étude menée en Suisse ont observé un début de saison plus précoce lors de températures saisonnières plus chaudes pour certains pollens d'arbres et de graminées. En effet, ils ont observé des débuts de saison qui commençaient six jours plus tôt pour les graminées et 25 jours plus tôt pour les noisetiers (arbres) (52). Cela dit, pour certains types de pollen, des associations inverses ont été observées. Par exemple, dans l'étude de Besancenot *et al.* (45), les auteurs ont trouvé que la saison du pollen de bouleau s'était prolongée au cours des premières années étudiées en lien avec la température, mais cette tendance s'était ensuite inversée. Leur hypothèse était que les hivers plus doux, en raison des changements climatiques, retarderaient la levée de la dormance de certaines espèces et annuleraient tout effet potentiel d'un printemps plus chaud (45). En ce qui concerne l'allongement de la saison pollinique, une étude de grande envergure effectuée sur 17 stations dans 12 pays de l'hémisphère Nord a permis de constater une tendance d'augmentation de la durée de la saison du pollen (tout type) liée au nombre de jours au-dessus de 0 °C ainsi qu'au nombre annuel de jours sans gel (42).

3.1.2.2. La température et l'allergénicité des pollens

Trois études de type expérimental menées en laboratoire se sont intéressées à la façon dont la température (54,55), ou la variation de la température (56), peut altérer le pollen de l'herbe à poux et augmenter son potentiel à déclencher des allergies (voir annexe 2, tableau A2-4).

Parmi ces trois études, deux ont tout d'abord observé une augmentation de l'allergénicité du pollen de l'herbe à poux, lorsque celle-ci est exposée pendant sa période de croissance à des températures plus élevées. En effet, Gentili *et al.* (54) ont identifié une corrélation positive entre la température de l'air ambiant (atteignant jusqu'à 30 °C pendant la croissance) et la quantité de protéines allergènes retrouvées sur les grains de pollen, ainsi qu'une augmentation des liaisons des IgE sanguines avec l'allergène Amb a 1⁵ issu de ces grains. Ils ont aussi noté une augmentation de la vitesse de croissance de la plante lorsqu'elle était exposée à des températures plus élevées (54). Les auteurs de la deuxième étude ont, quant à eux, obtenu des résultats similaires au regard de l'augmentation de l'allergénicité du pollen d'herbe à poux issu de plantes ayant évolué dans des milieux plus chauds (de 20 °C et 28 °C) comparativement à un milieu de contrôle (de 16 °C et 24 °C). Ils ont aussi trouvé que les caractéristiques morphologiques du plant d'herbe à poux étaient modifiées en fonction de la température, mais que la biomasse totale de chaque spécimen était restée inchangée pour les conditions expérimentales testées (55). Enfin, la troisième étude a plutôt porté sur l'influence de la variabilité climatique sur l'allergénicité de l'herbe à poux en exposant un groupe de plants à un climat stable (température de 25 °C) et un autre groupe à des niveaux variables de température, d'humidité relative et de lumière lors de leur croissance. Les auteurs ont conclu que les plants d'herbe à poux exposés à des conditions variables présentaient une plus grande variabilité au regard de leur contenu en allergènes que ceux exposés à une température constante. Les auteurs concluent également que les conditions climatiques présentes au moment de la croissance de l'herbe à poux peuvent faire augmenter le potentiel allergique d'un grain de pollen (56).

3.1.2.3. La température et les allergies aux pollens

Au total, sept groupes de chercheurs ont analysé l'influence des facteurs météorologiques (surtout la température) sur des mesures d'allergies aux pollens chez des individus. Les auteurs ont pris en compte plusieurs types de pollen simultanément dans des études de type cas croisé (n = 1), transversal (n = 3), longitudinal (n = 1) ou séries chronologiques (n = 2) (voir annexe 2, tableau A2-5).

Premièrement, trois études ont mis en évidence une augmentation des consultations ou des symptômes d'allergie liés à la température. En effet, selon Cabrera *et al.* (57) qui ont comparé la saison du pollen de 1996 avec celle de 2009, les concentrations de pollen journalières et la température seraient toutes deux positivement liées à la sévérité des symptômes chez les 48 participants investigués. Cela dit, ils ont constaté que les symptômes étaient plus sévères

⁵ Amb a 1 : allergène majeur de l'ambrosia, ou herbe à poux.

pour l'année avec une concentration totale de pollen moins grande, mais des températures plus chaudes et des concentrations d'ozone plus élevées. Ils ont émis l'hypothèse que l'augmentation de l'allergénicité des grains de pollen en raison de l'augmentation des concentrations d'ozone et de la température pourrait expliquer l'augmentation de la sévérité des symptômes documentés (57). De plus, une autre étude réalisée aux Pays-Bas a permis de constater que la température extérieure de février à juillet exerçait une influence sur la durée de la saison de consultations cliniques. Toutefois, les auteurs ont observé que la température n'était pas statistiquement liée à la date de début des consultations dans l'étude (58). Enfin, les auteurs d'une autre grande étude en Chine portant sur les consultations médicales pour la rhinite allergique de 10 383 personnes, au cours d'une saison de pollen, n'ont pas observé d'association entre la température journalière et le nombre de consultations (59).

En ce qui concerne la prévalence des allergies aux pollens, trois études portant sur le rhume des foins réalisées aux États-Unis ont permis de mettre en évidence une augmentation de la prévalence d'allergie liée à la température. Un premier groupe de chercheurs a utilisé les données d'une enquête (National Survey of Children's Health) effectuée auprès de 91 642 ménages en 2007. Ils ont conclu que le nombre d'enfants ayant été diagnostiqués avec le rhume des foins dans la dernière année était plus élevé dans les régions présentant des conditions chaudes et ensoleillées comparées à celles avec des conditions plus humides, moins chaudes et assujetties à de moindres volumes de précipitations (60). La deuxième étude effectuée aux États-Unis en utilisant les résultats d'une enquête menée auprès d'adultes (National Health Interview Survey) pour les années de 1997 à 2013 révèle que les journées de chaleur extrême⁶ au printemps étaient associées à une augmentation de la prévalence de diagnostics pour des allergies aux pollens dans les 12 derniers mois. Les individus dans les comtés les plus exposés aux chaleurs extrêmes étaient plus susceptibles (7 % [IC à 95 % : 2-11 %]) de recevoir un diagnostic de rhume des foins comparé aux comtés les moins exposés aux chaleurs extrêmes. Les auteurs émettent l'hypothèse que la floraison plus précoce causée par les chaleurs printanières devancerait le début de la saison du pollen et augmenterait la durée de l'exposition aux pollens (61). Une autre étude a montré qu'un début de saison de croissance des plantes devancé de trois semaines était lié à une augmentation du risque de diagnostic de rhume des foins dans la dernière année de 13 % (IC à 95 % : 5-22 %) comparativement aux individus habitant dans une région avec un début de la saison conforme aux années antérieures (62).

Une dernière étude s'est plutôt concentrée sur la symptomatologie d'asthme lors d'orage durant la saison du pollen de bouleau au cours d'une période de 17 ans. En utilisant un modèle statistique, les auteurs ont observé que lors d'événements orageux, le nombre de personnes se présentant à l'hôpital pour des symptômes respiratoires augmentait le jour même des orages et que l'augmentation du nombre de consultations était corrélée à la concentration des grains de pollen présents dans l'air (63).

⁶ Journée où la température maximale excède 95^e centile de la température sur 30 ans.

3.1.2.4. La pollution de l'air et les pollens

Les polluants atmosphériques et les concentrations de pollen dans l'air

Les auteurs de sept articles portant sur la concentration de pollen et de polluants dans l'air et faisant usage d'approches environnementales ($n = 4$) et expérimentales ($n = 2$) avaient comme objectif d'étudier les associations entre les concentrations de pollen et de polluants atmosphériques dans l'air ambiant (voir annexe 2, tableau A2-6).

Deux groupes de chercheurs se sont penchés sur plusieurs polluants de l'air conjointement et les concentrations de pollen (28,64). Ces auteurs ont identifié des corrélations positives et significatives entre les concentrations de pollen et certains types de polluants, notamment pour les particules respirables (PM_{10}) (64), les particules fines ($PM_{2,5}$) (28,64), le dioxyde d'azote (NO_2) (64) et l'ozone (O_3) (28) pour plusieurs types de pollen. Cependant, la présence de corrélations significatives et la direction des associations observées dépendaient du type de pollen considéré et de l'étude (28,64).

Les auteurs de trois autres études, portant plus spécifiquement sur les concentrations de pollen et de CO_2 , ont identifié des corrélations positives entre ce gaz à effet de serre et la concentration de pollen dans un contexte expérimental (65,66) ou environnemental (44). Les auteurs d'une des études ont identifié une augmentation de 53 % du volume de pollen produit par les fleurs de graminées (fléole des prés) lorsque la plante était exposée à des concentrations de CO_2 de 800 ppm comparativement à des conditions dites normales (300 ppm) lors de la croissance (65). Une deuxième étude sur les chênes a mis en évidence des résultats similaires pour des concentrations semblables (66). Anderegg *et al.* (44) ont aussi noté cette association positive entre l'augmentation de CO_2 et les concentrations de pollen totales (tous types confondus) sur une base annuelle mesurée à 60 stations d'échantillonnage en Amérique du Nord (44). Cela dit, les auteurs d'une étude de type environnemental réalisée sur 18 ans en Californie et considérant plusieurs pollens ne sont pas parvenus à identifier une telle association entre les pollens et le CO_2 (33).

Les polluants atmosphériques et l'allergénicité du pollen dans l'air

Plusieurs auteurs (16 études) se sont intéressés à la modulation de l'allergénicité des grains de pollen par les polluants dans l'air. La modification de l'allergénicité est généralement mesurée en utilisant deux méthodes : soit en observant la réactivité des IgE sanguines envers les allergènes de pollens exposés comparativement aux pollens non exposés, soit en mesurant la quantité de protéines allergènes sur les grains de pollen exposés. Les études retenues sont majoritairement de type expérimental ($n = 12$) et impliquent des expositions en laboratoire de plantes entières en phase de croissance, ou des grains de pollen à diverses concentrations de polluants de l'air. Quelques autres études environnementales ($n = 4$) comparent l'allergénicité des pollens retrouvés dans des milieux urbains plus pollués à des environnements ruraux moins pollués (voir annexe 2, tableau A2-7).

La plupart des auteurs des études expérimentales s'intéressant au NO₂ (six des sept études) ont observé une augmentation de l'allergénicité du pollen après une exposition contrôlée, et ce, à des concentrations variables pour une période d'exposition précise (51,55,67–69). Les pollens étudiés dans ces articles sont issus de différents types de graminées, d'arbres (ex. bouleau et platane) et d'herbacées (herbe à poux). Par exemple, les auteurs d'une des études mentionnées ci-dessus ont exposé des grains de pollen d'herbe à poux à une concentration de NO₂ atteignant 0,08 ppm comparée à un milieu contrôle avec des concentrations ambiantes considérées normales de 0,04 ppm. Ces derniers concluent que les allergènes présents dans les grains de pollen induisaient une plus grande réactivité aux IgE sanguines lorsque le grain était exposé à de plus grandes concentrations de NO₂ (69). D'autres chercheurs, ayant également utilisé des pollens d'herbes à poux, ont exposé ces derniers à des concentrations de NO₂ similaires en ajoutant une variable de température. Les auteurs ont conclu que lorsque l'exposition au NO₂ est combinée à une augmentation de la température ambiante durant la croissance de la plante, l'influence du NO₂ sur l'allergénicité est encore plus marquée (55). Des résultats similaires ont été obtenus pour des pollens d'arbres (67,68) et l'augmentation de l'allergénicité théorique par augmentation du nombre d'allergènes sur le grain de pollen a aussi été observée dans des conditions environnementales non contrôlées en Italie avec des pollens de cyprès (70). Toutefois, un groupe de chercheurs ayant effectué une étude environnementale n'a identifié aucun changement du nombre de protéines allergènes sur les grains de pollen de bouleau (71). Finalement, la seule étude s'étant penchée sur les graminées est peu concluante pour l'allergénicité, bien que les auteurs aient observé une augmentation de la germination avec une exposition de 0,106 ppm de NO₂ (72).

Contrairement au NO₂, le lien entre l'O₃ et l'augmentation de l'allergénicité des pollens est plus mitigé dans les études. Dans les six études expérimentales identifiées, les concentrations d'O₃ étaient variables et la moitié des études ont été effectuées sur des espèces de graminées, tandis que les autres ont été réalisées sur des pollens de type d'arbres à feuilles caduques. Pour les graminées, une étude n'a révélé aucune association entre l'O₃ et l'allergénicité lors d'une exposition des grains de pollen à 0,061 ppm (51), tandis que les auteurs d'une autre étude ont identifié une augmentation de l'allergénicité lorsque les grains de pollen sont exposés à 0,061 ppm comparée à un scénario sans O₃ (72). Cependant, l'allergénicité n'a pas été mesurée de la même façon dans les deux études, la première ayant étudié la réactivité des IgE sanguines envers les allergènes du grain de pollen exposé et la deuxième ayant plutôt étudié l'allergénicité grâce aux composantes sur le grain pouvant modifier la réaction allergique. Finalement, une autre étude a mis en lumière une diminution de la quantité d'allergènes sur le grain lorsque des graminées sont exposées à 0,08 ppm comparée au niveau contrôle de 0,03 ppm d'O₃ lors de leur croissance (65). Les chercheurs de cette étude ont émis l'hypothèse que l'O₃ pourrait causer du stress à la plante lors de sa croissance, ce qui mènerait à une diminution du nombre de protéines allergènes sur le grain de pollen (65). Pour les pollens d'arbres, deux groupes de chercheurs ont identifié une augmentation de l'allergénicité pour certains types de pollen (68,73). De plus, Ribeiro *et al.* (73) ont conclu que l'allergénicité peut dépendre de l'allergène spécifique étudié pour une même espèce. Une autre étude de type environnemental, quant à

elle, a mis en évidence une augmentation de la quantité d'allergène sur les grains de pollen pour des bouleaux (71).

L'influence du CO₂ sur l'allergénicité a été abordée dans quatre études. Les auteurs de trois études expérimentales ont observé une augmentation théorique de l'allergénicité du pollen d'herbe à poux (74,75) et de chêne (66) lorsqu'exposé au CO₂ lors de leur croissance. En effet, les auteurs d'une des études ont rapporté une augmentation de 11 % des protéines allergènes sur les grains de pollen d'arbres (chêne du Japon) pour des concentrations de 560 ppm et de 720 ppm de CO₂ comparée à une concentration de 400 ppm (considérée normale) après six ans de croissance dans un environnement contrôlé (66). Cela dit, une autre étude n'a pas mis en évidence d'association pour les graminées (65).

Quelques autres polluants de l'air ont aussi été analysés, mais de façon moins exhaustive. Une augmentation d'allergénicité du pollen a été suggérée dans le cas du monoxyde de carbone (CO) et du dioxyde de soufre (SO₂) pour plusieurs pollens d'arbres (76) dans une étude expérimentale. Une étude environnementale en Pologne s'intéressant aux polluants émis par le trafic routier (PM₁₀, PM_{2,5} et oxydes d'azote [NO_x]) a aussi rapporté une augmentation du nombre de protéines allergènes sur les grains de pollen de bouleau (77). Inversement, une étude environnementale en Espagne s'intéressant aux pollens de pin a conclu que les zones moins polluées (rurales) avaient une plus haute allergénicité que les zones urbaines plus polluées en NO_x, en SO₂ et en PM₁₀. Ils émettent l'hypothèse que ce résultat pourrait être attribuable à la concentration d'ozone qui était plus élevée dans la zone rurale de cette étude (78).

Les polluants atmosphériques et la manifestation des symptômes d'allergie

Neuf études épidémiologiques ont traité de l'influence des polluants atmosphériques sur les allergies aux pollens des participants. Ces études ont voulu observer l'influence des polluants de l'air sur la sévérité des symptômes journaliers de personnes présentant des allergies (voir annexe 2, tableau A2-8).

Les études s'appuyant sur les symptômes d'individus allergiques aux pollens peuvent être divisées en deux sous-catégories : les études de suivi des symptômes journaliers (n = 4) (57,79–81) et les études sur les consultations en clinique médicale ou à l'hôpital pour des symptômes d'allergie (n = 5) (59,82–85). Les études sur le suivi des symptômes ont surtout été réalisées en faisant usage d'applications mobiles ou de questionnaires qui permettent de suivre temporellement la sévérité des symptômes d'allergie chez les participants (57,79–81). Les auteurs de ces études se sont donc basés sur de l'information autodéclarée et, pour la majorité de ces études (3/4), les symptômes n'ont pas été confirmés par un test d'allergie ou par des données médicales. Les autres études de consultations en clinique médicale ou à l'hôpital s'intéressaient plutôt au nombre d'individus présentant des symptômes importants nécessitant une prise en charge hospitalière (59,84,85) ou des consultations en clinique (82,83). Des confirmations du diagnostic ont été effectuées dans la majorité de ces études.

Au total, les auteurs de huit des neuf études ont identifié une association significative entre au moins un type de polluant et la sévérité des symptômes ou le nombre de consultations en clinique médicale ou à l'hôpital. Les polluants associés à cette augmentation sont surtout l'O₃ (57,79,84,86) et les PM_{2,5} (59,79,81–83). En effet quatre études sur six ayant mesuré l'O₃ et cinq études sur neuf ayant mesuré les PM_{2,5} ont rapporté une association significative avec les symptômes ou les consultations. Par exemple, les chercheurs d'une étude de type cas croisé menée en Autriche utilisant les symptômes autorapportés par 2 304 personnes à l'aide d'une application mobile durant les saisons de pollens de bouleau, de graminées et d'herbe à poux, ont identifié une corrélation entre la sévérité des symptômes et les concentrations d'O₃ ($R^2 = 32,8 \%$ [graminées], $29,7 \%$ [bouleau] et $9,4 \%$ [herbe à poux]), mais aucune association significative pour les autres polluants étudiés (NO₂, SO₂, PM₁₀, et PM_{2,5}) (86). De plus, lorsque la température est prise en compte, les associations pour l'O₃ durant la saison du pollen de bouleau et d'herbe à poux perdent leur significativité. Les auteurs mentionnent que l'absence d'association pourrait être expliquée par le faible taux de participation en marge de la saison des graminées. Ils mentionnent aussi que l'association pourrait être plus prononcée pour les graminées, puisque leur pollen est davantage présent lors des mois où l'O₃ est trouvé en plus haute concentration dans l'air ambiant, notamment de mai à août, en raison du rayonnement solaire qui permet la formation d'ozone (86). Les auteurs d'une autre étude de type transversal ont émis une conclusion similaire pour l'O₃ en utilisant une autre application mobile auprès de 3 323 participants en Europe, durant les saisons de pollen de graminées et de bouleau. En effet, Bédard *et al.* (2020) ont identifié une corrélation positive entre la manifestation des symptômes d'allergie et les concentrations de PM_{2,5} (OR : 1,21 [IC à 95 % : 1,09-1,34]) et d'O₃ (OR : 1,25 [IC à 95 % : 1,11-1,41]) ambiantes spécifiquement durant la saison pollinique des graminées. Tout comme la première étude citée, ces chercheurs rapportent une diminution de l'association (OR) lorsqu'ils prennent en compte la température extérieure dans la régression (79).

Pour les PM_{2,5}, une étude effectuée au Japon comprenant les données de 73 995 visites en clinique pour le rhume des foins et s'intéressant au pollen de cyprès et de cèdre, suggère une faible corrélation positive entre le nombre de consultations et les concentrations extérieures de PM_{2,5}. Cela dit, cette association est plus forte lorsqu'ils ont considéré seulement un type de particules, spécifiquement les nss-Ca²⁺ (OR : 1,45 [IC à 95 % : 1,32–1,58]) (83). Les auteurs de cette étude mentionnent que certaines particules de PM_{2,5} pourraient interagir avec les grains de pollen et faire libérer leurs protéines allergisantes. De plus, les auteurs d'une autre étude présentant des résultats similaires pour des pollens d'arbres (cèdre et cyprès) émettent l'hypothèse que les PM_{2,5} pourraient avoir un effet synergique avec les pollens dans l'air (82). Il serait alors possible que les allergènes sur les grains de pollen se lient à certaines particules de PM_{2,5}, ce qui influencerait ensuite leur allergénicité. Des associations ont aussi été rapportées entre les manifestations d'allergie aux pollens et les concentrations ambiantes de SO₂, de NO₂ et de PM₁₀ (57,59), bien que d'autres études n'aient pas trouvé d'association avec ces mêmes polluants (85).

3.1.2.5. L'environnement bâti et les pollens

Treize études se sont penchées sur les caractéristiques de l'environnement physique et les pollens, certaines s'intéressant à l'environnement bâti en général (n = 5) et d'autres s'intéressant spécifiquement à la végétation urbaine (n = 8) (voir annexe 2, tableau A2-9).

L'environnement bâti et les concentrations de pollen

Les auteurs des études sur les concentrations de pollen dans l'air et leurs variations spatiales ont montré que plusieurs types de milieux (ex. urbain, semi-urbain) peuvent être plus propices à émettre certains types de pollen. Par exemple, dans une étude sur la distribution spatiale des concentrations de pollen dans la ville de Toronto, les auteurs ont observé à l'aide de 17 stations d'échantillonnage que les pollens étaient plus abondants dans les zones commerciales et industrielles que dans les autres zones urbaines (87). Plus spécifiquement, ils ont observé davantage de pollens d'arbres dans les zones commerciales ainsi que davantage de pollens de graminées et d'herbacées dans les zones industrielles. Deux autres groupes de chercheurs ont observé une plus grande concentration totale de pollen (tous types confondus) dans les milieux semi-urbains comparés aux milieux urbains (villes) (22,88). Une de ces deux études révèle aussi que, malgré une concentration totale de pollens échantillonnés moins élevée en ville, certains types de pollen étaient plus abondants dans ce milieu que dans les milieux semi-urbains, notamment les pollens d'arbres ornementaux (22). Par ailleurs, Kasprzyk *et al.* (89) ont comparé trois parcs urbains et semi-urbains en périphérie de la ville de Rzeszów en Pologne en utilisant des capteurs volumétriques personnels tous les trois à quatre jours (pour un total de 50 jours) au cours d'un an. Ils ont noté que le parc dans le centre-ville avait une plus grande concentration de pollen que les autres parcs. Les auteurs de cette étude émettent l'hypothèse que ce résultat pourrait être dû à la densité du milieu bâti au centre-ville qui pourrait limiter la dispersion du pollen (88,89). Une autre étude a conclu que la canopée des arbres dans une zone tampon de 0,5 km peut expliquer 40 % de la variation de la concentration du pollen total dans l'air pour la ville de New York (90). Cela dit, les auteurs d'une étude effectuée en Australie n'ont trouvé aucune association entre les différents types d'utilisation du sol et les concentrations de pollen (23).

L'environnement bâti et les allergies aux pollens

Un total de sept études épidémiologiques sur l'environnement bâti, surtout en lien avec les espaces verts, ont été identifiées. Quatre études ont abordé l'exposition à certains types de végétation durant l'enfance et la sensibilisation. Les auteurs de trois de ces études ont observé une augmentation de sensibilisation (présence d'IgE sanguines) aux pollens lors d'exposition à certains types de végétation. En effet, la première étude de type longitudinal révèle une association positive entre les espaces verts riches en graminées et la sensibilisation aux aéroallergènes pour les enfants âgés de 7 ans (OR : 1,27 [IC à 95 % : 1,02-1,58]), bien que les auteurs n'aient pas obtenu d'association significative pour la rhinite allergique (91). En effet, les auteurs ont observé qu'une augmentation de 10 % d'espaces verts composés de graminées près de la résidence (400 m) était associée à une augmentation de 20 à 27 % de sensibilisation aux pollens chez les enfants âgés de 7 ans. Deux autres études, une de type longitudinal (92) et une

autre de cohorte (93), ont mis en évidence une association positive entre la canopée ou la présence d'arbres allergéniques et la sensibilisation chez des enfants âgés de 7 ans et des enfants âgés entre 2 et 15 ans (92,93). Finalement, une étude transversale a conclu que les personnes ayant grandi dans une ferme avec des animaux étaient moins sensibilisées (OR : 0,23 [IC à 95 % : 0,15–0,37] aux graminées et aux bouleaux comparées à celles ayant grandi dans de grandes ou petites villes (94).

Des associations positives entre la présence de certaines espèces d'arbres et les symptômes d'allergie ou les hospitalisations pour l'asthme ont aussi été observées dans trois autres études (95–97). Selon l'étude de Lai *et al.* (95), effectuée dans la ville de New York, la densité des arbres serait liée à une diminution du nombre de visites aux urgences pour l'asthme. Cependant, la présence de certains types d'arbres allergéniques, notamment l'érable rouge, le tilleul américain et le chêne rouge d'Amérique, aurait une association inverse (95). L'étude de Stas *et al.* (96) rapporte que la couverture d'arbres ou de graminées près du lieu de résidence (100 m) serait associée de façon positive et significative à des symptômes moins sévères autorapportés dans une application, mais que l'inverse était vrai lorsqu'ils considèrent seulement les bouleaux (96).

3.2 Les facteurs individuels

3.2.1 Caractéristiques des études

Les 12 études sur les facteurs individuels, dont 10 identifiées par la stratégie de recherche des facteurs individuels et deux provenant de la stratégie de recherche sur les facteurs environnementaux, ont abordé les facteurs de risque individuels pouvant mener à la sensibilisation aux pollens ou à la manifestation de symptômes d'allergie aux pollens. Les facteurs abordés par les auteurs de ces études étaient variés et plusieurs ont abordé un grand nombre de facteurs en même temps. La majorité s'est surtout intéressée aux facteurs biologiques (ex. âge [n = 8], sexe [n = 5] et aux prédispositions génétiques [n = 3]), d'autres aux habitudes de vie et comportements (ex. tabagisme [n = 3], cannabis [n = 1]) et d'autres enfin aux facteurs socioéconomiques (ex. le revenu [n = 1]) ou l'immigration (n = 1) (voir annexe 2, tableau A2-12). Les devis d'études ont surtout été de type transversal (n = 10) (voir annexe 2, tableau A2-12).

3.2.2 Résultats des études sur les facteurs individuels

Les déterminants biologiques liés à la sensibilisation ou à la présence d'allergies aux pollens

En ce qui concerne l'âge, quatre groupes de chercheurs ont conclu que la prévalence de réaction aux allergènes de pollens lors de tests cutanés augmentait avec l'âge de façon significative pendant l'enfance (98–101). Toutefois, selon une étude transversale en Suède, l'incidence de la sensibilisation aux pollens n'augmenterait pas de façon significative avec l'âge (98). Par ailleurs, les auteurs d'une autre étude transversale ont observé que la sévérité des symptômes nasaux de rhinite allergique saisonnière augmentait de pair avec l'âge de début des symptômes pendant l'enfance (4-18 ans) (102). Cela dit, les auteurs d'une étude sur des enfants

avec des symptômes d'allergie ont obtenu un résultat de corrélation non significatif pour l'âge (103). En ce qui concerne les adultes, une vaste étude transversale menée auprès de 11 284 participants ayant téléchargé une application contenant un questionnaire sur le rhume des foins suggère que la rhinite allergique autorapportée diminuerait avec l'âge chez les adultes (104). Inversement, les auteurs d'une étude transversale ayant utilisé les résultats d'une enquête nationale réalisée aux États-Unis ont conclu que les personnes plus âgées avaient reçu plus de diagnostics de rhume des foins en proportion que les jeunes adultes (61).

En ce qui concerne l'association entre le sexe et les allergies aux pollens, trois études effectuées auprès d'enfants ont mis en évidence la présence d'une sensibilisation aux pollens (mesurée par test cutané ou IgE sanguines) significativement plus élevée chez les garçons que chez les filles (98,99,101). Par exemple, selon Ronmark *et al.* (98), les garçons âgés entre 7 et 8 ans réagissaient davantage aux tests cutanés pour les pollens que les filles du même âge (OR : 1,4 [IC à 95 % : 1,1-1,8]) (98). À l'inverse, les auteurs d'une étude s'intéressant à la rhinite allergique saisonnière autorapportée dans une population d'adultes au Japon ont constaté qu'être une femme était davantage associé au rhume des foins (OR : 1,33 [IC à 95 % : 1,11-1,58]) ainsi qu'à la présence de symptômes plus sévères (OR : 1,33 [IC à 95 % : 1,07-1,59]) (104). Une autre étude menée auprès d'adultes aux États-Unis a aussi observé que les femmes avaient 30 % (OR : 1,30 [IC à 95 % : 1,27-1,30]) plus de diagnostics du rhume des foins pendant la période de 1997 à 2013 (61).

Un autre facteur biologique traité dans les études retenues est la présence de parents allergiques. Les trois groupes de chercheurs ayant étudié la prédisposition génétique aux allergies ont identifié des associations positives entre la prévalence de sensibilisation ou de symptômes d'allergie chez les enfants et le statut allergique des parents (99,101,105). Selon l'étude de Hatzler *et al.* (105), effectuée auprès de 820 enfants membres d'une même cohorte, le fait d'avoir un parent aux prises avec des allergies (de tout type) était un facteur associé au développement de la rhinite allergique saisonnière aux graminées (OR : 2,56 [IC à 95 % : 1,4-4,5]) ou au bouleau (OR : 5,21 [IC à 95 % : 2,20-12,4]) chez leur enfant (105).

Un autre facteur étudié dans trois des études incluses dans cette revue était la présence de fratrie ainsi que l'effet de l'ordre de naissance sur la sensibilisation (99,101,105). En effet, Yamazaki *et al.* (101) ont étudié la sensibilisation au cèdre du Japon chez des enfants âgés entre 6 et 9 ans et ont observé qu'être un enfant aîné était un facteur de risque pour la sensibilisation (OR : 1,29 [IC à 95 % : 1,17-1,42]), de même qu'être enfant unique (OR : 1,38 [IC à 95 % : 1,21-1,57]) (101). Une deuxième étude au sujet de la sensibilisation à l'herbe à poux auprès de 4 013 enfants âgés de 2 à 13 ans révèle qu'avoir une sœur ou un frère plus âgé était protecteur pour la sensibilisation (OR : 0,77 [IC à 95 % : 0,60-0,98]) ainsi que pour les symptômes de rhinite allergique (OR : 0,80 [IC à 95 % : 0,68-0,93]) (99). Cela dit, un autre groupe d'auteurs en Allemagne s'intéressant aux allergies au bouleau et aux graminées chez des individus nés en 1990 a observé des résultats similaires, mais qui étaient non significatifs (105).

Les déterminants comportementaux ou socioéconomiques liés à la sensibilisation ou aux allergies aux pollens

Au niveau des facteurs de risque de nature comportementale, les résultats de la seule étude transversale s'étant penchée sur le revenu et l'éducation, effectuée aux États-Unis et mentionnée plus tôt, tendaient à indiquer une augmentation de diagnostics pour le rhume des foins chez les individus qui avaient un plus haut revenu ou un plus haut niveau d'éducation (61).

Un groupe de chercheurs en Italie a évalué la prévalence d'allergies aux pollens chez un groupe de 165 enfants immigrants, lequel était comparé à celui d'un groupe de 237 enfants italiens, les deux ayant des symptômes de rhinite allergique dans une étude transversale. Ils ont observé que les enfants italiens avaient plus de sensibilisation aux pollens locaux que les enfants ayant immigré dans le pays, tandis que les enfants immigrants étaient davantage sensibilisés à la poussière (106).

Une autre étude japonaise (104), mentionnée plus tôt, a mesuré l'association entre les habitudes tabagiques et la présence d'allergie aux pollens autorapportée chez les adultes. Les résultats étaient non significatifs pour la rhinite allergique chez les fumeurs. Cela dit, au niveau de la sévérité des symptômes, les auteurs de l'étude ont constaté une corrélation significative chez les fumeurs (104). Deux autres études se sont intéressées à l'influence de parents fumeurs sur les allergies de leurs enfants. Les auteurs de la première étude (101), effectuée chez 8 815 enfants, ont conclu qu'avoir une mère fumeuse était associée négativement à la sensibilisation au cèdre japonais chez les enfants (OR : 0,77 [IC à 95 % : 0,67-0,89]) (101). Les résultats de la deuxième étude, menée auprès de 1 360 enfants souffrant de symptômes d'allergie en Italie, suggèrent qu'être exposé à la fumée secondaire provenant d'un père fumeur pourrait faire augmenter la sévérité des symptômes observés chez ses enfants lors de la saison du pollen (OR : 1,23 [IC à 95 % : 0,98-1,54]) (102). La consommation du cannabis a aussi été abordée par un groupe de chercheurs aux États-Unis, dans une enquête de 2 761 personnes. Ils ont observé une association positive entre la consommation de cannabis sous toutes ses formes au moins une fois dans les derniers 30 jours et la sensibilisation au pollen (mesuré par IgE). Les types de pollens étudiés sont ceux de l'herbe à poux (OR : 1,84 [IC à 95 % : 1,30-2,59]) et du bouleau (OR : 2,09 [IC à 95 % : 1,23-3,55]) (107).

Un autre groupe d'auteurs s'est concentré sur les comportements faisant augmenter l'exposition aux microorganismes. Plus spécifiquement, ils ont étudié les enfants qui se rongeaient les ongles et suçaient leur pouce. Leur étude a permis d'observer une diminution de la sensibilisation aux aéroallergènes liés à ces deux comportements (108). En effet, les auteurs de cette étude ont observé que les enfants adoptant de telles habitudes présentaient une réduction de 30 à 40 % de sensibilisation. Cependant, lorsque les auteurs ont isolé les enfants sensibilisés au pollen de graminées, le seul type de pollen considéré dans l'étude, cette association n'était plus significative. De plus, ces comportements n'étaient pas liés à une diminution de la prévalence de la rhinite allergique ni de l'asthme chez les enfants.

4 DISCUSSION

4.1 Facteurs météorologiques

Un grand nombre d'études (n = 45) portant sur l'influence des facteurs météorologiques ont été identifiées par le biais de cette revue. Ces études montrent que les journées plus chaudes et sèches présentant un fort rayonnement solaire sont généralement les journées lors desquelles les plus hautes concentrations de pollen dans l'air sont observées. Les paramètres météorologiques ont un impact sur la production de pollens, leur allergénicité et leur dispersion dans l'air, puisqu'ils influencent la phénologie⁷ des plantes et peuvent interagir avec les grains de pollen dans l'air (110). En effet, la température, le régime de précipitation, le rayonnement solaire et l'humidité de l'air ambiant sont importants pour initier la floraison qui impacte à son tour la libération des pollens (111). Une fois libérés, les grains de pollen sont influencés par les facteurs météorologiques comme la pluie et le vent en fonction de leurs caractéristiques morphologiques (ex. leur taille). Selon Khwarahm *et al.* (37), les différentes tailles des grains de pollen peuvent faire en sorte qu'ils soient lessivés de l'air plus facilement que d'autres et qu'ils soient plus facilement aéroportés par le vent (37). À cet effet, il a été observé que certains pollens (ex. bouleau) peuvent être transportés sur des centaines de kilomètres, mais cela dépend du type de pollen (112).

Plusieurs autres revues de littérature sur les pollens allergènes confirment que les facteurs météorologiques en combinaison avec les concentrations de CO₂ modulent, en partie, l'intensité de la saison des pollens ainsi que les dates de début, de fin et la durée de la saison pollinique (110,113,114). D'ailleurs, d'après les résultats des études dans cette revue, lorsque pris en compte sur une base annuelle, les facteurs météorologiques importants pour l'intensité et la durée de la saison sont surtout la température et, parfois, le volume de précipitation annuel (41,44,49,52).

Cela dit, les auteurs d'une minorité des articles retenus dans le cadre de cette revue ont rapporté des effets inverses de la température, du volume de précipitation, de l'humidité relative, etc., lors de la saison du pollen. Afin d'expliquer ces résultats, les auteurs ont souligné l'influence d'autres facteurs environnementaux, notamment ceux liés à l'urbanisation, à la plantation d'arbres ornementaux en milieu urbain et à certaines pratiques agricoles (45). Le transport de pollens sur de longues distances peut aussi parfois expliquer certains résultats atypiques, puisque les pollens présents dans l'air ambiant peuvent provenir d'autres régions plus éloignées et être transportés par le vent (112,115).

⁷ L'étude des phénomènes périodiques des végétaux liés aux variations climatiques saisonnières, comme la floraison et la foliation (109).

Implications pour le réseau de santé publique

Des conditions météorologiques favorables pour la production et la dispersion des pollens pourraient donc mener à une saison d'allergie plus intense en raison de plus grandes concentrations polliniques et d'une saison qui commence plus tôt et qui dure possiblement plus longtemps. Cette association positive entre la température et les allergies a été soulignée dans quelques articles épidémiologiques dans cette revue (57,60,61). D'ailleurs, certaines études externes à cette revue ont rapporté qu'il peut y avoir une augmentation du nombre de personnes qui deviennent sensibilisées aux pollens allergènes lorsque les concentrations de pollen dans l'air sont plus élevées (116) ou lorsque la durée de la saison se prolonge de plusieurs jours (117). Une exposition à de plus hautes concentrations ou pour une plus longue période pourrait donc mener à plus de sensibilisation aux pollens et à un plus grand nombre de personnes allergiques. Toutefois, peu de données démontrant ce fait ont été identifiées à ce jour. De plus, plusieurs études s'intéressent à la sensibilisation aux pollens. Les personnes sensibilisées ne sont pas toujours symptomatiques, mais présentent des IgE aux pollens et sont plus à risque de développer des symptômes de rhinite allergique, puisque la sensibilisation est la première étape dans le développement de l'allergie (118).

Certaines conditions météorologiques extrêmes peuvent aussi avoir des impacts importants sur la manifestation de symptômes d'allergie. Par exemple, l'asthme par temps orageux est causé par des conditions météorologiques spécifiques lors de la saison du pollen et peut causer une augmentation d'hospitalisations à la suite de tels événements météorologiques qui incluent un orage. Seule une étude sur ce sujet a été identifiée dans cette revue (63). Cependant, ce phénomène a été étudié par d'autres auteurs dans le passé (119–121). En effet, les orages créent des conditions qui peuvent mener à une fragmentation des grains de pollen, qui deviennent ensuite des sous-particules pouvant pénétrer plus profondément dans les poumons et pouvant causer de la symptomatologie d'asthme lors d'orage (63,119).

L'étude des paramètres météorologiques et de leurs impacts sur les concentrations de pollen est importante, puisqu'elle peut contribuer au développement de modèles de prévision pollinique. Il existe déjà plusieurs modèles utilisant des informations comme les moyennes de température, le volume de précipitation, la vitesse du vent, l'humidité relative pour prédire les concentrations de pollen de l'air ambiant (110). De plus, le suivi des paramètres météorologiques est aussi important pour prédire l'évolution des concentrations de pollen dans un contexte de changements climatiques. En effet, selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (122), les scénarios climatiques futurs projettent que la température continuera à augmenter en réponse à l'augmentation des émissions des gaz à effet de serre, notamment le CO₂ (123). Puisque la température est un des facteurs les plus importants pour la concentration de pollen, il est probable que les concentrations de pollen continueront à s'amplifier et que leur saison se prolongera davantage. D'ailleurs, deux grandes études rétrospectives à long terme discutées dans cette revue ont rapporté des augmentations de la température moyenne suivie d'augmentations des concentrations de pollen pour l'hémisphère Nord (42) et l'Amérique du Nord (44). Selon l'étude portant sur l'Amérique du Nord, les modifications du climat d'origine anthropique seraient responsables d'environ 50 % des

prolongements de saisons du pollen et environ 8 % des augmentations de concentrations de pollen (44).

D'ailleurs, la température est aussi un des déterminants les plus importants pour la distribution géographique des plantes produisant des pollens allergènes (54). Justement, les auteurs d'une étude ont effectué des projections portant sur le nombre de personnes qui pourraient être sensibilisées à l'herbe à poux dans le futur en utilisant le scénario modéré d'émission de gaz à effet de serre RCP 4.5⁸ et prenant en compte les changements de distribution de l'herbe à poux attendus en Europe. Les auteurs ont estimé que le nombre de personnes sensibilisées à ce pollen passerait de 33 millions à 77 millions en Europe entre 2041-2060 en raison de l'expansion de la distribution de cette plante (125).

Biais et limites des études météorologiques

Il est important de noter que les études incluses dans la section sur les facteurs de risque météorologiques ont certaines limites. L'une d'entre elles est que les études à petite échelle ne sont pas toujours généralisables à d'autres contextes. Les auteurs des études qui n'ont utilisé qu'une seule station d'échantillonnage ou qui ont mesuré les pollens dans une seule ville sont spécifiques à la région de l'étude. Cette limite relève du fait que chaque région géographique possède des conditions climatiques spécifiques et des combinaisons uniques de température, de précipitation, d'humidité et de plantes. Cela dit, plusieurs des études dans cette revue sont à grande échelle, avec plusieurs stations (voir annexe 2, tableau A2-3), et démontrent des tendances similaires à celles à plus petite échelle.

Une dernière limite citée par la majorité des auteurs des études dans cette section est que les mesures de paramètres météorologiques ne sont généralement pas effectuées au même endroit que les mesures de pollens, ce qui pourrait avoir une influence sur les résultats.

4.2 Pollution de l'air

Un nombre important d'études portant sur la pollution de l'air et les effets divers sur les pollens allergènes ou les symptômes d'allergie a été identifié (n = 29). Ces effets incluent des modifications du potentiel allergène des grains de pollen et une augmentation de la sévérité des symptômes d'allergie. Premièrement, pour le NO₂, plusieurs auteurs ont montré une altération de l'allergénicité pour la majorité des types de pollens étudiés dans des contextes expérimentaux lors de l'exposition des grains de pollen en laboratoire (51,55,67–69). Cela dit, bien que le NO₂ fasse augmenter l'allergénicité des pollens en laboratoire, ce résultat ne s'est pas traduit en augmentation de l'intensité des symptômes dans les études épidémiologiques. En effet, aucune étude n'a identifié d'association entre l'exposition au NO₂ et la sévérité des symptômes. Il est possible que cela soit dû aux basses concentrations de NO₂ présentes dans l'environnement au fil de l'été avec peu de fluctuation (86). Pour l'O₃, les résultats pour l'allergénicité en laboratoire s'avèrent moins probants et semblent varier selon le type de pollen

⁸ Scénario climatique intermédiaire qui se caractérise par une stabilisation de température (forçage radiatif) d'ici 2100 (124).

et l'allergène spécifique (51,73). Cela dit, dans le cas d'études épidémiologiques, l'exposition simultanée à l'O₃ et aux pollens semble faire augmenter de façon significative l'intensité des symptômes d'allergie autorapportés, et ce, surtout pour les pollens de graminées (79,86). Par ailleurs, des auteurs ont observé une hausse des consultations médicales pour les allergies (surtout pour les pollens d'arbres et de graminées) lorsque les concentrations de PM_{2,5} dans l'air augmentent (82–84).

Enfin, dans le cas du CO₂, un gaz à effet de serre, il est bien démontré que celui-ci favorise la croissance des plantes et la production de pollen lorsque sa concentration augmente dans l'air ambiant (44,65,66). D'ailleurs, plusieurs revues de littérature mentionnent l'influence des concentrations de CO₂ sur la production de biomasse, y compris le pollen, surtout l'herbe à poux (110,126). Les études dans la présente revue concluent aussi que lorsque les plantes sont exposées à plus de CO₂ lors de la croissance, le nombre de protéines allergènes sur les grains de pollen augmente (66,74,75).

Bien que plusieurs auteurs se soient penchés sur l'impact des polluants de l'air sur le potentiel allergène des grains de pollen, peu d'entre eux sont arrivés à déterminer le ou les mécanismes par lesquels un polluant peut accroître l'allergénicité d'un allergène. En effet, certaines études indiquent que le nombre de protéines allergènes par grain de pollen peut augmenter à la suite d'une exposition à un polluant. Par conséquent, même si les fluctuations de la concentration de pollen dans l'air ambiant sont faibles, ces grains de pollen exposés à un polluant pourraient déclencher davantage de symptômes d'allergie chez les individus sensibilisés (66,70). Les résultats d'autres études concluent que la liaison des IgE aux protéines allergènes dans des échantillons sanguins peut aussi être facilitée par certaines molécules présentes dans le grain de pollen (51,68).

Dans la littérature générale, certains mécanismes sont proposés pour expliquer l'influence des polluants sur les grains de pollen. Ces mécanismes incluent la modification de la viabilité et de la germination des grains de pollen, l'altération de certaines protéines qui facilitent ensuite la réaction immunologique, un changement des caractéristiques physicochimiques comme la fragilisation de l'exine du pollen provoquant la libération de l'allergène dans l'air, ou encore un changement de leur potentiel allergène (127,128). Ces mécanismes sont généralement spécifiques au type de polluant présent dans l'air. Certains auteurs mentionnent aussi que le stress que causent certains polluants sur les plantes, comme l'ozone, pourrait faire changer le contenu d'allergènes de leurs pollens (78). Il existe aussi des interactions entre les polluants de l'air et le système immunitaire qui peuvent ensuite exacerber ou aggraver les symptômes d'allergie aux pollens. L'augmentation de la sévérité des symptômes peut donc être causée par une interaction entre le pollen et le polluant ou le polluant et le système respiratoire. En effet, les polluants comme le NO₂, l'O₃ et les DEP (particules d'échappement diesel) peuvent favoriser la perméabilité des cellules spécialisées du système respiratoire (nommée cellules épithéliales), ce qui peut modifier leur réponse aux autres allergènes comme les pollens (110). De plus, certaines particules de pollution peuvent endommager les tissus respiratoires et réduire certains mécanismes de protection comme le transport et l'élimination du mucus dans les bronches (la

clairance mucociliaire), ce qui peut permettre un contact plus étroit entre les allergènes et le système respiratoire, ainsi que promouvoir l'inflammation (129).

Implications pour le réseau de santé publique

Les résultats de ces études sont importants dans un contexte d'évaluation prospective des impacts sanitaires populationnels, puisque les effets directs et indirects des changements climatiques sont susceptibles d'accroître la concentration de certains polluants atmosphériques en réponse à l'augmentation de la température moyenne de l'air ambiant. Par exemple, une augmentation des concentrations de PM_{2,5} est généralement documentée dans le couloir de dispersion des panaches de fumée issus des feux de forêt. De plus, pour les concentrations d'O₃ troposphériques, les températures chaudes et sèches s'avèrent plus propices à la formation de ce contaminant (130). En effet, une étude sur les tendances des concentrations de l'O₃ réalisée aux États-Unis a démontré que dans les milieux urbains, l'O₃ augmente avec la température et diminue avec l'humidité (131). Finalement, les projections d'émissions de CO₂, un gaz à effet de serre lié aux changements climatiques, sont aussi à la hausse (122). Une étude incluse dans cette revue conclut que d'après leurs résultats obtenus en laboratoire et les projections futures de niveau de CO₂ et O₃, l'augmentation des concentrations de pollen de graminées serait de l'ordre de 165 à 202 % (65).

Il est aussi important de noter que plusieurs études retenues dans cette revue de littérature ont mis en évidence des associations positives entre la présence de polluants atmosphériques et l'allergénicité de pollens ou la sévérité des symptômes d'allergie, à des concentrations sous les seuils considérés acceptables pour la santé humaine en Europe ou au Japon (57,67,68,82) pour l'O₃, le NO₂ (en laboratoire) et les PM_{2,5}. Par conséquent, même à des concentrations de polluants atmosphériques en deçà des seuils d'exposition recommandés par des instances de santé, des modifications au regard de l'allergénicité des pollens peuvent être observées. Afin de mieux protéger la santé des personnes allergiques, plusieurs auteurs recommandent de considérer les polluants atmosphériques en parallèle du suivi des pollens pour mieux caractériser et communiquer le risque.

Biais et limites des études sur la pollution de l'air

Une problématique des études dans cette catégorie est que l'allergénicité n'est pas toujours mesurée de la même façon pour chaque étude. Cela rend la comparaison des études difficile et peut expliquer certaines divergences dans les résultats concernant l'O₃ en laboratoire. De plus, tout comme les études météorologiques, les données de pollution de l'air ne sont généralement pas prises à la même place que les capteurs de pollens.

En ce qui concerne les études épidémiologiques dans cette section, elles recourent souvent à des données de symptômes autorapportés, ce qui peut introduire biais de rappel. D'ailleurs, dans les études sans diagnostic d'allergie, il peut aussi y avoir des individus présentant des symptômes de rhinite, mais qui ne sont pas vraiment allergiques aux pollens. Cela dit, une des forces des études utilisant des données autorapportées est qu'elles comportent un très grand nombre de participants, ce qui devrait compenser l'absence de diagnostic.

4.3 Environnement bâti

L'environnement bâti, notamment les espaces verts, la canopée ou les autres types d'utilisation du sol, a un rôle important pour la présence des pollens en milieu urbain. Les études dans cette revue observent qu'il peut y avoir des variations spatiales de concentrations de pollen au sein d'une ville en fonction du type d'environnement et de la verdure présente (22,87). En effet, certains milieux urbanisés peuvent être plus propices à l'émergence de certains types de plantes, ce qui influence ensuite les concentrations de pollen. Par exemple, la littérature indique que l'herbe à poux a tendance à croître dans des terrains vacants ou des milieux peu végétalisés, comme les bords de trottoir (17,132). Les études dans cette revue observent aussi que la canopée et les espaces verts près des résidences (dans un rayon de 100 m à 2 km) peuvent être associés à une plus grande sévérité des symptômes d'allergie chez les adultes, particulièrement en lien avec les arbres considérés comme étant allergéniques (95–97) et peuvent accroître le taux de sensibilisation aux pollens pendant l'enfance (92,93). D'ailleurs, ces arbres allergéniques sont souvent présents en grande quantité en ville en raison du choix de plantation d'espèces. En effet, la canopée d'arbres en milieu urbain est souvent constituée d'une faible diversité d'espèces d'arbres, parfois de types ornementaux allergisants et avec beaucoup de spécimens mâles qui produisent des pollens (12,133).

Implications pour le réseau de santé publique

Les espaces verts et la canopée urbaine procurent plusieurs bienfaits pour les populations urbaines et peuvent servir de moyens d'adaptation aux changements climatiques, notamment dans la lutte contre les îlots de chaleur urbains (134). Cela dit, il est important de sélectionner avec attention le type d'arbres plantés, surtout en ce qui concerne les arbres reconnus comme allergènes. Les études dans cette revue démontrent bien que certains types d'arbres peuvent avoir une plus grande influence sur la sévérité des allergies que d'autres. Bien qu'il existe encore des lacunes dans la littérature en lien avec l'allergénicité des arbres (135), diversifier les espèces et le sexe des arbres plantés permettrait d'éviter l'augmentation et à la concentration d'un type de pollen spécifique dans les villes (136).

Biais et limites des études sur l'environnement bâti

Les études dans la section d'environnement bâti mesurent les pollens à différents endroits dans une ville et sont donc spécifiques au contexte de leur localisation géographique. Pour les études épidémiologiques, les études se sont basées sur les adresses résidentielles pour estimer l'exposition des individus, ce qui n'est pas forcément représentatif du lieu où les participants ont réellement passé le plus de temps.

4.4 Facteurs individuels

Les études consultées au sujet des facteurs de risque individuels pour les allergies aux pollens ont montré que les facteurs liés à la sensibilisation et, dans certains cas, à la présence de symptôme d'allergie aux pollens chez les enfants incluent : avoir un ou deux parents présentant des allergies; être un garçon et être né dans une région avec une présence élevée de pollens (98,105,106). De plus, la prévalence de la sensibilisation au pollen augmenterait avec l'âge chez les enfants (98,99), tandis que la présence de symptômes chez les adultes diminuerait avec l'âge (104). Les études incluses dans cette revue révèlent aussi que les femmes sont généralement plus à risque de développer des allergies (61,104).

Dans cette revue de littérature, seules les études sur la rhinite allergique saisonnière, la sensibilisation au pollen ou de symptomatologie d'asthme en condition d'orage causée par les pollens ont été considérées, ce qui a grandement réduit le nombre d'études incluses. Plusieurs études au sujet de la rhinite allergique (toutes causes confondues) ont été exclues, puisqu'elles n'étaient pas spécifiques au pollen. Cela dit, il semblerait que les facteurs de risque pour la rhinite allergique causée par d'autres aéroallergènes (ex. poussière et protéines animales) soient très similaires à ceux pour les pollens. Par exemple, dans une étude sur la rhinite allergique (toutes causes confondues) menée chez 4 496 enfants âgés de 4 ans, les auteurs ont conclu que les facteurs de risque pour la rhinite allergique incluaient la présence de sensibilisation à un allergène, la présence de rhinite chez les parents et finalement le sexe masculin (137). Les auteurs d'une autre étude portant sur la prévalence de la rhinite allergique chez les plus de 15 ans au Québec ont observé que les femmes présentaient plus de rhinite allergique que les hommes et que les personnes âgées (65 ans et plus) avaient une plus faible prévalence que les plus jeunes (138).

Concernant le lien entre l'exposition aux grains de pollen et la sensibilisation à ces derniers, il semblerait qu'une plus grande exposition à un jeune âge serait importante pour le développement d'une sensibilisation aux pollens durant l'enfance. Cette association a justement été observée dans l'étude sur les immigrants italiens dans laquelle les enfants ayant été exposés depuis la naissance aux pollens présents en Italie montraient un plus grand taux de sensibilisation que les enfants ayant immigré (106). Les auteurs de deux revues de littérature sur la rhinite allergique ont aussi conclu que la saison de la naissance peut avoir un effet sur la sensibilisation au pollen (12).

Concernant le tabagisme, les études dans cette revue révèlent que la fumée de cigarette semble accentuer les symptômes de rhinite allergique. Cela est aussi observé dans la littérature scientifique sur la rhinite allergique en général. En effet, les individus fumant des cigarettes ou étant exposés à la fumée secondaire auraient des symptômes de rhinite allergique plus sévères que ceux qui ne fumaient pas. Cela peut être expliqué par l'impact de la fumée de cigarette sur le système respiratoire, notamment son effet irritatif sur les poumons et son interférence avec plusieurs fonctions du système respiratoire (12,139).

Une hypothèse qui pourrait expliquer certains des facteurs comportementaux qui sont jugés protecteurs pour les allergies est l'hypothèse hygiéniste. Selon celle-ci, la diminution des infections et des expositions aux microorganismes généralement non pathogènes serait liée à l'augmentation de maladies autoimmunes et aux allergies observées chez les populations des pays industrialisés (140). La diminution des infections pendant l'enfance serait en partie liée aux vaccinations, à l'utilisation d'antibiotiques et aux mesures d'hygiène concernant l'eau potable et la nourriture. Ainsi, la faible exposition aux microorganismes durant l'enfance mènerait à une réponse inappropriée du système immunitaire (140,141). Cette hypothèse suscite alors l'intérêt d'étudier les liens entre la présence de certaines infections durant l'enfance, la présence d'animaux de compagnie ou encore entre certains comportements, comme le rongage des ongles. D'autres facteurs protecteurs qui n'ont pas été discutés dans cette revue, mais proposés par certains auteurs, incluent l'allaitement maternel et la présence d'animaux de compagnie (2).

Les facteurs socioéconomiques sont des déterminants importants à considérer, mais peu d'études ont été identifiées sur le sujet. Seule une étude dans cette revue a étudié certains facteurs socioéconomiques (61). Dans la littérature hors de cette revue portant sur la rhinite allergique toutes causes confondues, certains auteurs rapportent une augmentation de la prévalence d'allergie chez les individus avec un statut socioéconomique plus favorable, tandis qu'ils observent plus d'asthme chez les individus plus défavorisés (142).

Implications pour le réseau de santé publique

Les études identifiées dans la section des facteurs individuels ont surtout permis de confirmer ce qui était déjà connu au niveau des facteurs non modifiables liés aux allergies en général et spécifiquement pour les allergies aux pollens. Ces informations peuvent permettre d'identifier les personnes les plus à risque d'être sensibilisées et de développer des symptômes et peut aider à cibler la communication en santé publique. Cela dit, ils ne permettent pas d'émettre des recommandations sur des comportements à éviter ou à adopter pour diminuer le risque de développer des allergies. Peu d'études se sont intéressées aux facteurs modifiables, sauf la cigarette qui est déjà un facteur de risque connu pour la rhinite allergique. Plusieurs autres comportements ont été suggérés, mais plus d'études sont nécessaires pour confirmer leur influence.

Biais et limites pour les études sur les facteurs individuels

Il est important de noter que presque toutes les études dans cette catégorie sont de type descriptif, notamment des études transversales, qui s'intéressent surtout à la prévalence de la rhinite allergique. D'ailleurs, l'expression anglaise *Hay fever*, utilisée par plusieurs études dans cette revue, bénéficierait aussi d'une définition claire et précise, puisque dans certains cas, elle indique les allergies aux pollens et, dans d'autres, elle est synonyme de rhinite allergique, incluant les allergies aux autres aéroallergènes comme la poussière ainsi que les poils et les squames d'animaux. Plusieurs études utilisant le terme *Hay fever* sans mention de pollens ont été exclues pour cette raison.

4.5 Limites et biais généraux

Cette revue comporte quelques limites. Tout d'abord, bien que les mots clés utilisés dans la stratégie de recherche aient été exhaustifs, il est possible que toutes les études ou les sujets pertinents n'aient été répertoriés. De plus, le tri des articles peut comporter quelques biais de sélection. Enfin, en raison du grand nombre d'études, aucune démarche systématique d'analyse de la qualité n'a été effectuée. Cela dit, toutes les études incluses dans cette revue sont des études évaluées par des pairs.

Sur un autre plan, une autre limite générale de cette revue réside dans les différentes régions géographiques (Europe, Amérique du Nord, Australie, etc.) couvertes par les études retenues qui sont caractérisées par des espèces de plantes, des conditions météorologiques et des polluants très différents qui, par ailleurs, pourraient ne pas être transposables à la réalité du Québec. Toutefois, plusieurs études retenues portent sur des pollens aussi problématiques au Québec, comme ceux de l'herbe à poux et du bouleau. Pour résoudre cette problématique, l'emphasis dans cette revue a été mise sur les études en Amérique du Nord ou de grandes envergures sur plusieurs régions dont les conditions géographiques sont plus représentatives de celles du Québec.

5 CONCLUSION

Cette revue a mis en évidence que plusieurs facteurs de l'environnement peuvent influencer la concentration des grains de pollen dans l'air, leur allergénicité, la date de début et la longueur de la saison pollinique. D'ailleurs, les facteurs environnementaux comme la température et la concentration de CO₂ seraient parmi les facteurs les plus importants influençant les concentrations de pollen annuelles et leurs saisons. Des variations de la saison pollinique d'année en année sont normales, mais les changements environnementaux causés par les activités anthropiques ont des effets plus prononcés sur la saison pollinique, ce qui pourrait mener à un changement de prévalence ou de sévérité des symptômes d'allergie au sein de la population. Cependant, les études démontrant les effets directs des changements climatiques sur les allergies aux pollens sont limitées. Bien que les données disponibles puissent dès maintenant soutenir la prise de décision en santé publique, il serait important de réaliser davantage d'études utilisant des données d'exposition et de symptômes plus fiables pour mieux comprendre les facteurs environnementaux directement associés au développement et à l'exacerbation des allergies aux pollens. Enfin, un plus grand nombre d'études en Amérique du Nord et même au Québec permettrait de mieux évaluer la situation spécifique du Québec.

L'altération de l'allergénicité causée par la pollution de l'air pouvant augmenter la sévérité des symptômes est aussi un facteur important à prendre en compte. D'ailleurs, les polluants ayant démontré des associations avec l'allergénicité (PM_{2,5} et O₃) peuvent se trouver en haute quantité en raison de facteurs anthropiques, comme l'augmentation de la température et de la fréquence des feux de forêt. Il pourrait être judicieux de considérer la qualité de l'air en même temps que les concentrations de pollen en raison d'une possible synergie entre les deux qui mènerait à des symptômes plus sévères chez des individus.

Au niveau des facteurs de risque individuels, les études recensées démontrent que le sexe, l'âge et la présence d'allergie chez les parents sont tous liés à la rhinite allergique saisonnière. Ces facteurs sont des facteurs biologiques et non modifiables et, donc, peuvent surtout servir pour le choix de messages en santé publique. En revanche, davantage d'études devraient être réalisées sur des facteurs de risque modifiables pour la rhinite allergique saisonnière, tels que des comportements ou d'autres facteurs modifiables jusque-là peu étudiés.

Malgré l'absence de données spécifiques au Québec à l'heure actuelle, des facteurs de risque importants ont tout de même été identifiés dans cette revue. Pour la cartographie du risque, il sera important de considérer les projections climatiques futures, surtout celles de la température et du CO₂, les sources de pollens allergènes dans le milieu urbain incluant les espèces d'arbres dans la canopée, les polluants présents dans l'air et la présence de groupes de la population allergiques ou ayant des facteurs de risque pour les allergies. La considération de tous ces facteurs permettra de mieux prédire le risque et le fardeau sanitaire des pollens allergènes et, ainsi, à la population d'adopter certaines mesures de protection lors de la saison des pollens.

RÉFÉRENCES

1. Gouvernement du Québec [En ligne]. Québec, Canada : Gouvernement du Canada; s. d. Rhinite saisonnière (rhume des foins). Disponible : <https://www.quebec.ca/sante/problemes-de-sante/a-z/rhinite-saisonniere-rhume-des-foins>
2. Sierra-Heredia C, North M, Brook J, Daly C, Ellis A, Henderson D, *et al.* Aeroallergens in Canada : distribution, public health impacts, and opportunities for Prevention. IJERPH. 2018;15(8):1577.
3. Demers I. État des connaissances sur le pollen et les allergies : les assises pour une gestion efficace. Québec, Canada : Institut national de santé publique du Québec; 2013. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/publications/1678>
4. American Academy of Allergy Asthma and Immunology [En ligne]. États-Unis : American Academy of Allergy Asthma and Immunology; s. d. Atopy Defined. Disponible : <https://www.aaaai.org/tools-for-the-public/allergy-asthma-immunology-glossary/atopy-defined>
5. Comtois P, Gagnon L. Concentration pollinique et fréquence des symptômes de pollinose : une méthode pour déterminer les seuils cliniques. Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie Clinique. 1988;28(4):279-86.
6. Office québécois de la langue française [En ligne]. Québec, Canada : Office québécois de la langue française; 1981. Aéroallergène. Disponible : <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/17055598/aeroallergene>
7. L'Association des Allergologues et Immunologues du Québec [En ligne]. Québec, Canada : Le Médecin du Québec; 2009. Le syndrome pollen-aliment. Disponible : https://allerg.qc.ca/Information_allergique/3_2_pollen_aliment.html
8. Office québécois de la langue française [En ligne]. Québec, Canada : Office québécois de la langue française; 2013. Carpelle. Disponible : <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26530334/carpelle>
9. L'Association des Allergologues et Immunologues du Québec [En ligne]. Québec, Canada : L'Association des Allergologues et Immunologues du Québec; s. d. L'allergie aux pollens. Disponible : https://allerg.qc.ca/Information_allergique/2_3a_pollen.html
10. Canuel M, Valois P, Tessier M, Boulet LP, Boursiquot JN, Talbot D. Portrait des allergies au pollen chez la population québécoise. Le Climatoscope. 2021;(3):43-8.
11. D'Amato G, Pawankar R, Vitale C, Lanza M, Molino A, Stanziola A, *et al.* Climate change and air pollution : effects on respiratory allergy. Allergy, Asthma & Immunology Research. 2016;8(5):391-5.
12. Demers-Bouffard D. Les aléas affectés par les changements climatiques : effets sur la santé, vulnérabilités et mesures d'adaptation [En ligne]. Québec, Canada : Institut national de santé publique du Québec; 2021. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/publications/2771>

13. Breton MC, Garneau M, Fortier I, Guay F, Louis J. Relationship between climate, pollen concentrations of Ambrosia and medical consultations for allergic rhinitis in Montreal, 1994–2002. *Science of The Total Environment*. 2006;370(1):39-50.
14. Larivée C, Sinclair-Desgagné N, Da Silva L, Desjarlais C, Revéret JP. Évaluation des impacts des changements climatiques et de leurs coûts pour le Québec et l'État québécois [En ligne]. Québec, Canada : Ouranos; 2015. Disponible : <https://www.ouranos.ca/sites/default/files/2023-06/proj-ant-thant-larivee-rapportfinal.pdf>
15. Centers for Disease Control and Prevention [En ligne]. États-Unis : Centers for Disease Control and Prevention; s. d. Allergens and Pollen. Disponible : https://www.cdc.gov/climate-health/php/effects/allergens-and-pollen.html?CDC_AAref_Val=https://www.cdc.gov/climateandhealth/effects/allergen.htm
16. Ministère de la Santé et des Services sociaux [En ligne]. Québec, Canada : Ministère de la Santé et des Services sociaux; s. d. Effets des changements climatiques sur les pollens allergènes – Herbe à poux et autres pollens allergènes. Disponible : <https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/sante-environnementale/pollens/effets-des-changements-climatiques-sur-les-pollens-allergenes/>
17. Gouvernement du Québec [En ligne]. Québec, Canada : Gouvernement du Québec; s. d. Reconnaître et limiter l'herbe à poux. Disponible : <https://www.quebec.ca/habitation-territoire/milieu-de-vie-sain/reconnaitre-et-limiter-l-herbe-a-poux>
18. Framarin A, Déry V. Les revues narratives : fondements scientifiques pour soutenir l'établissement de repères institutionnels [En ligne]. Québec, Canada : Institut national de santé publique du Québec; 2021. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/publications/2780>
19. Antomonov M, Motruk I, Alexandrova O, Kremenska L, Bobrowska O, Dudarenko O, *et al.* Development of an integrated indicator for prognosis of pollinosis in the human population of Central Ukraine. *Acta Agrobotanica*. 2018;71.
20. Elvira-Rendueles B, Zapata JJ, Miralles JC, Moreno JM, García-Sánchez A, Negral L, *et al.* Aerobiological importance and allergic sensitization to Amaranthaceae under arid climate conditions. *Science of The Total Environment*. 2017;583:478-86.
21. Bishan C, Bing L, Chixin C, Junxia S, Shulin Z, Cailang L, *et al.* Relationship between airborne pollen assemblages and major meteorological parameters in Zhanjiang, South China. *PLOS ONE*. 2020;15(10):e0240160.
22. Antón SF, de la Cruz DR, Sánchez AG, Dávila I, Sánchez Sánchez J, Sánchez Reyes E. Urban atmospheric levels of allergenic pollen : comparison of two locations in Salamanca, Central-Western Spain. *Environ Monit Assess*. 2020;192(7):414.
23. Jetschni J, Al Kouba J, Beggs PJ, Jochner-Oette S. Investigation of spatial and temporal variations of airborne Poaceae, Myrtaceae and Cupressaceae pollen and Alternaria spores in Sydney, Australia, 2017–2020. *Aerobiologia*. 2023;39(1):149-68.

24. Gross L, Weber R, Wolf M, Crooks JL. The impact of weather and climate on pollen concentrations in Denver, Colorado, 2010-2018. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. 2019;123(5):494-502.e4.
25. Kruczek A, Puc M, Stacewicz A, Wolski T. The threat of allergenic airborne trees pollen to pollinosis sufferers in a rural area (Western Pomerania, Poland). *Acta Agrobot*. 2015;68(4):325-31.
26. Nikolaidis C, Katotomichelakis M, Nena E, Makris M, Tsakas M, Michopoulos I, *et al*. Seasonal variations of allergenic pollen in a Mediterranean region – Alexandroupolis, north-east Greece. *Ann Agric Environ Med*. 2015;22(4):685-9.
27. Alan Ş, Şahin AA, Sarışahin T, Şahin S, Kaplan A, Pınar NM. The effect of geographical and climatic properties on grass pollen and Phl p 5 allergen release. *Int J Biometeorol*. 2018;62(7):1325-37.
28. Rahman A, Luo C, Khan MHR, Ke J, Thilakanayaka V, Kumar S. Influence of atmospheric PM2.5, PM10, O3, CO, NO2, SO2, and meteorological factors on the concentration of airborne pollen in Guangzhou, China. *Atmospheric Environment*. 2019;212:290-304.
29. Álvarez-López S, Fernández-González M, Sánchez Espinosa KC, Amigo R, Rodríguez-Rajo FJ. London plane tree pollen and Pla A 1 allergen concentrations assessment in urban environments. *Forests*. 2022;13(12):2089.
30. González-Fernández E, Álvarez-López S, Garrido A, Fernández-González M, Rodríguez-Rajo FcoJ. Data mining assessment of Poaceae pollen influencing factors and its environmental implications. *Science of The Total Environment*. 2022;815:152874.
31. Ianovici N, Bîrsan MV. The influence of meteorological factors on the dynamic of *Ambrosia artemisiifolia* pollen in an invaded area. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2020;48(2):752-69.
32. Flonard M, Lo E, Levetin E. Increasing *Juniperus virginiana* L. pollen in the Tulsa atmosphere : long-term trends, variability, and influence of meteorological conditions. *Int J Biometeorol*. 2018;62(2):229-41.
33. Paudel B, Chu T, Chen M, Sampath V, Prunicki M, Nadeau KC. Increased duration of pollen and mold exposure are linked to climate change. *Sci Rep*. 2021;11(1):12816.
34. Bruffaerts N, De Smedt T, Delcloo A, Simons K, Hoebeke L, Verstraeten C, *et al*. Comparative long-term trend analysis of daily weather conditions with daily pollen concentrations in Brussels, Belgium. *Int J Biometeorol*. 2018;62(3):483-91.
35. de Weger LA, Bruffaerts N, Koenders MMJF, Verstraeten WW, Delcloo AW, Hentges P, *et al*. Long-term pollen monitoring in the Benelux : evaluation of allergenic pollen levels and temporal variations of pollen seasons. *Frontiers in Allergy*; 2021. Disponible : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/falgy.2021.676176>
36. Rojo J, Rapp A, Lara B, Fernández-González F, Pérez-Badia R. Effect of land uses and wind direction on the contribution of local sources to airborne pollen. *The Science of the total environment*. 2015;538:672-82.

37. Khwarahm N, Dash J, Atkinson PM, Newnham RM, Skjøth CA, Adams-Groom B, *et al.* Exploring the spatio-temporal relationship between two key aeroallergens and meteorological variables in the United Kingdom. *Int J Biometeorol.* 2014;58(4):529-45.
38. Plaza MP, Alcázar P, Hernández-Ceballos MA, Galán C. Mismatch in aeroallergens and airborne grass pollen concentrations. *Atmospheric Environment.* 2016;144:361-9.
39. González-Parrado Z, Valencia-Barrera RM, Vega-Maray AM, Fuertes-Rodríguez CR, Fernández-González D. The weak effects of climatic change on *Plantago* pollen concentration : 17 years of monitoring in Northwestern Spain. *Int J Biometeorol.* 2014;58(7):1641-50.
40. Ruiz-Valenzuela L, Aguilera F. Trends in airborne pollen and pollen-season-related features of anemophilous species in Jaen (south Spain) : a 23-year perspective. *Atmospheric Environment.* 2018;180:234-43.
41. Zhang Y, Bielory L, Mi Z, Cai T, Robock A, Georgopoulos P. Allergenic pollen season variations in the past two decades under changing climate in the United States. *Glob Chang Biol.* 2015;21(4):1581-9.
42. Ziska LH, Makra L, Harry SK, Bruffaerts N, Hendrickx M, Coates F, *et al.* Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere : a retrospective data analysis. *The Lancet Planetary Health.* 2019;3(3):e124-31.
43. Kishikawa R, Koto E. Effect of climate change on allergenic airborne pollen in Japan. *Immunol Allergy Clin North Am.* 2021;41(1):111-25.
44. Anderegg WRL, Abatzoglou JT, Anderegg LDL, Bielory L, Kinney PL, Ziska L. Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2021;118(7):e2013284118.
45. Besancenot JP, Sindt C, Thibaudon M. Pollen et changement climatique. Bouleau et graminées en France métropolitaine. *Revue Française d'Allergologie.* 2019;59(8):563-75.
46. Cariñanos P, Alcázar P, Galán C, Domínguez E. Environmental behaviour of airborne *Amaranthaceae* pollen in the southern part of the Iberian Peninsula, and its role in future climate scenarios. *Science of The Total Environment.* 2014;470-471:480-7.
47. Bogawski P, Grewling L, Nowak M, Smith M, Jackowiak B. Trends in atmospheric concentrations of weed pollen in the context of recent climate warming in Poznań (Western Poland). *Int J Biometeorol.* 2014;58(8):1759-68.
48. Ščevková J, Vašková Z, Sepšiová R, Kováč J. Seasonal variation in the allergenic potency of airborne grass pollen in Bratislava (Slovakia) urban environment. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021;28(44):62583-92.
49. Manangan A, Brown C, Saha S, Bell J, Hess J, Uejio C, *et al.* Long-term pollen trends and associations between pollen phenology and seasonal climate in Atlanta, Georgia (1992-2018). *Annals of Allergy, Asthma & Immunology.* 2021;127(4):471-480.e4.

50. Rojo J, Picornell A, Oteros J, Werchan M, Werchan B, Bergmann KC, *et al.* Consequences of climate change on airborne pollen in Bavaria, Central Europe. *Reg Environ Change*. 2021;21(1):9.
51. Fernández-González M, Ribeiro H, Rodríguez-Rajo FJ, Cruz A, Abreu I. Short-term exposure of dactylis glomerata pollen to atmospheric gaseous pollutants is related to an increase in IgE binding in patients with grass pollen allergies. *Plants*. 2023;12(1):76.
52. Frei T. Climate change in Switzerland: Impact on hazel, birch, and grass pollen on the basis of half a century of pollen records (1969 – 2018). *ALS*. 1 janv 2020;4(01):69-75.
53. Malkiewicz M, Drzeniecka-Osiadacz A, Krynicka J. The dynamics of the Corylus, Alnus, and Betula pollen seasons in the context of climate change (SW Poland). *Science of The Total Environment*. 2016;573:740-50.
54. Gentili R, Asero R, Caronni S, Guarino M, Montagnani C, Mistrello G, *et al.* Ambrosia artemisiifolia L. temperature-responsive traits influencing the prevalence and severity of pollinosis : a study in controlled conditions. *BMC Plant Biology*. 2019;19(1):155.
55. Cheng X, Frank U, Zhao F, Capella JR, Winkler JB, Schnitzler JP, *et al.* Plant growth traits and allergenic potential of Ambrosia artemisiifolia pollen as modified by temperature and NO₂. *Environmental and Experimental Botany*. 2023;206:105193.
56. Ghiani A, Ciappetta S, Gentili R, Asero R, Citterio S. Is ragweed pollen allergenicity governed by environmental conditions during plant growth and flowering? *Sci Rep*. 2016;6(1):30438.
57. Cabrera M, Garzón García B, Moreno-Grau S, Subiza J. Association between seasonal allergic rhinitis and air pollution, meteorological factors, and grass pollen counts in Madrid (1996 and 2009). *J Investig Allergol Clin Immunol*. 2019;29(5):371-7.
58. Schreurs W, Schermer TRJ, Akkermans RP, Bischoff EWMA, Luijckx HD. 25-year retrospective longitudinal study on seasonal allergic rhinitis associations with air temperature in general practice. *npj Prim Care Respir Med*. 2022;32(1):1-6.
59. Jiang F, Yan A. Correlation of pollen concentration and meteorological factors with medical condition of allergic rhinitis in Shenyang area. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*. 2022;2022:e4619693.
60. Silverberg JI, Braunstein M, Lee-Wong M. Association between climate factors, pollen counts, and childhood hay fever prevalence in the United States. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2015;135(2):463-469.e5.
61. Upperman CR, Parker JD, Akinbami LJ, Jiang C, He X, Murtugudde R, *et al.* Exposure to extreme heat events is associated with increased hay fever prevalence among nationally representative sample of US adults: 1997-2013. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. 2017;5(2):435-441.e2.

62. Sapkota A, Murtugudde R, Curriero FC, Upperman CR, Ziska L, Jiang C. Associations between alteration in plant phenology and hay fever prevalence among US adults : implication for changing climate. PLOS ONE. 2019;14(3):e0212010.
63. Löhmus M, Lind T, MacLachlan L, Ekeboom A, Gedda B, Östensson P, *et al.* Combined exposure to birch pollen and thunderstorms affects respiratory health in Stockholm, Sweden-A Time Series Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(10):5852.
64. Pavón-Romero GF, Calderón-Ezquerro M del C, Rodríguez-Cervantes MA, Fernández-Villanueva D, Melgoza-Ruiz E, Ramírez-Jiménez F, *et al.* Association of allergic sensitivity and pollination in allergic respiratory disease : the role of pollution. JAA. 2022;15:1227-43.
65. Albertine JM, Manning WJ, DaCosta M, Stinson KA, Muilenberg ML, Rogers CA. Projected carbon dioxide to increase grass pollen and allergen exposure despite higher ozone levels. PLOS ONE. 2014;9(11):e111712.
66. Kim KR, Oh JW, Woo SY, Seo YA, Choi YJ, Kim HS, *et al.* Does the increase in ambient CO₂ concentration elevate allergy risks posed by oak pollen? Int J Biometeorol. 2018;62(9):1587-94.
67. Cuinica LG, Abreu I, Esteves da Silva J. Effect of air pollutant NO₂ on *Betula pendula*, *Ostrya carpinifolia* and *Carpinus betulus* pollen fertility and human allergenicity. Environmental Pollution. 2014;186:50-5.
68. Ribeiro H, Costa C, Abreu I, Esteves da Silva JCG. Effect of O₃ and NO₂ atmospheric pollutants on *Platanus x acerifolia* pollen : immunochemical and spectroscopic analysis. Sci Total Environ. 2017;599-600:291-7.
69. Zhao F, Elkelish A, Durner J, Lindermayr C, Winkler JB, Ruëff F, *et al.* Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) : allergenicity and molecular characterization of pollen after plant exposure to elevated NO₂. Plant Cell Environ. 2016;39(1):147-64.
70. Mattei F, Rocca GD, Schiavoni G, Paoletti E, Afferni C. Traffic-related NO₂ affects expression of *Cupressus sempervirens* L. pollen allergens. Ann Agric Environ Med. 2022;29(2):232-7.
71. Beck I, Jochner S, Gilles S, McIntyre M, Buters JTM, Schmidt-Weber C, *et al.* High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. PLOS ONE. 2013;8(11):e80147.
72. Galveias A, Arriegas R, Mendes S, Ribeiro H, Abreu I, Costa AR, *et al.* Air pollutants NO₂- and O₃-induced *Dactylis glomerata* L. pollen oxidative defences and enhanced its allergenic potential. Aerobiologia. 2021;37(1):127-37.
73. Ribeiro H, Duque L, Sousa R, Cruz A, Gomes C, da Silva JE, *et al.* Changes in the IgE-reacting protein profiles of *Acer negundo*, *Platanus x acerifolia* and *Quercus robur* pollen in response to ozone treatment. Int J Environ Health Res. 2014;24(6):515-27.
74. Rauer D, Gilles S, Wimmer M, Frank U, Mueller C, Musiol S, *et al.* Ragweed plants grown under elevated CO₂ levels produce pollen which elicit stronger allergic lung inflammation. Allergy. 2021;76(6):1718-30.

75. El Kelish A, Zhao F, Heller W, Durner J, Winkler JB, Behrendt H, *et al.* Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen allergenicity : SuperSAGE transcriptomic analysis upon elevated CO₂ and drought stress. *BMC Plant Biology*. 2014;14(1):176.
76. Cuinica LG, Cruz A, Abreu I, da Silva JCGE. Effects of atmospheric pollutants (CO, O₃, SO₂) on the allergenicity of *Betula pendula*, *Ostrya carpinifolia*, and *Carpinus betulus* pollen. *International Journal of Environmental Health Research*. 2015;25(3):312-21.
77. Stawoska I, Myszkowska D, Oliwa J, Skoczowski A, Weselucha-Birczyńska A, Saja-Garbarz D, *et al.* Air pollution in the places of *Betula pendula* growth and development changes the physicochemical properties and the main allergen content of its pollen. *PLOS ONE*. 2023;18(1):e0279826.
78. García-Gallardo MV, Algorta J, Longo N, Espinel S, Aragones A, Lombardero M, *et al.* Evaluation of the effect of pollution and fungal disease on *Pinus radiata* pollen allergenicity. *Int Arch Allergy Immunol*. 2013;160(3):241-50.
79. Bédard A, Sofiev M, Arnavielhe S, Antó JM, Garcia-Aymerich J, Thibaudon M, *et al.* Interactions between air pollution and pollen season for rhinitis using mobile technology : a MASK-POLLAR study. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*. 2020;8(3):1063-1073.e4.
80. Berger M, Bastl M, Bouchal J, Dirr L, Berger U. The influence of air pollution on pollen allergy sufferers. *Allergol Select*. 2021;5:345-8.
81. Jones PJ, Koolhof IS, Wheeler AJ, Williamson GJ, Lucani C, Campbell SL, *et al.* Characterising non-linear associations between airborne pollen counts and respiratory symptoms from the AirRater smartphone app in Tasmania, Australia : a case time series approach. *Environmental Research*. 2021;200:111484.
82. Konishi S, Ng CFS, Stickley A, Nishihata S, Shinsugi C, Ueda K, *et al.* Particulate matter modifies the association between airborne pollen and daily medical consultations for pollinosis in Tokyo. *Science of The Total Environment*. 2014;499:125-32.
83. Phosri A, Ueda K, Tasmin S, Kishikawa R, Hayashi M, Hara K, *et al.* Interactive effects of specific fine particulate matter compositions and airborne pollen on frequency of clinic visits for pollinosis in Fukuoka, Japan. *Environmental Research*. 2017;156:411-9.
84. Ito K, Weinberger KR, Robinson GS, Sheffield PE, Lall R, Mathes R, *et al.* The associations between daily spring pollen counts, over-the-counter allergy medication sales, and asthma syndrome emergency department visits in New York City, 2002-2012. *Environmental Health*. 2015;14(1):71.
85. Batra M, Vicendese D, Newbigin E, Lambert K a, Tang M, Abramson MJ, *et al.* The association between outdoor allergens – pollen, fungal spore season and high asthma admission days in children and adolescents. *International Journal of Environmental Health Research*. 2022;32(6):1393-402.
86. Berger M, Bastl K, Bastl M, Dirr L, Hutter HP, Moshhammer H, *et al.* Impact of air pollution on symptom severity during the birch, grass and ragweed pollen period in Vienna, Austria : importance of O₃ in 2010-2018. *Environ Pollut*. 2020;263(Pt A):114526.

87. Zapata-Marin S, Schmidt AM, Weichenthal S, Katz DSW, Takaro T, Brook J, *et al.* Within city spatiotemporal variation of pollen concentration in the city of Toronto, Canada. *Environmental Research*. 2022;206:112566.
88. Werchan B, Werchan M, Mücke HG, Gauger U, Simoleit A, Zuberbier T, *et al.* Spatial distribution of allergenic pollen through a large metropolitan area. *Environ Monit Assess*. 2017;189(4):169.
89. Kasprzyk I, Ćwik A, Kluska K, Wójcik T, Cariñanos P. Allergenic pollen concentrations in the air of urban parks in relation to their vegetation. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019;46:126486.
90. Weinberger KR, Kinney PL, Robinson GS, Sheehan D, Kheirbek I, Matte TD, *et al.* Levels and determinants of tree pollen in New York City. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2018;28(2):119-24.
91. Gernes R, Brokamp C, Rice GE, Wright JM, Kondo MC, Michael YL, *et al.* Using high-resolution residential greenspace measures in an urban environment to assess risks of allergy outcomes in children. *Science of The Total Environment*. 2019;668:760-7.
92. Markevych I, Ludwig R, Baumbach C, Standl M, Heinrich J, Herberth G, *et al.* Residing near allergenic trees can increase risk of allergies later in life: LISA Leipzig study. *Environmental Research*. 2020;191:110132.
93. Lovasi GS, O'Neil-Dunne Jarlath P. M., Lu JWT, Sheehan D, Perzanowski MS, MacFaden SW, *et al.* Urban tree canopy and asthma, wheeze, rhinitis, and allergic sensitization to tree pollen in a New York City birth cohort. *Environmental Health Perspectives*. 2013;121(4):494-500.
94. Elholm G, Linneberg A, Husemoen LLN, Omland Ø, Grønager PM, Sigsgaard T, *et al.* The Danish urban–rural gradient of allergic sensitization and disease in adults. *Clinical & Experimental Allergy*. 2016;46(1):103-11.
95. Lai Y, Kontokosta CE. The impact of urban street tree species on air quality and respiratory illness : a spatial analysis of large-scale, high-resolution urban data. *Health & Place*. 2019;56:80-7.
96. Stas M, Aerts R, Hendrickx M, Delcloo A, Dendoncker N, Dujardin S, *et al.* Exposure to green space and pollen allergy symptom severity : a case-crossover study in Belgium. *Science of The Total Environment*. 2021;781:146682.
97. Stas M, Aerts R, Hendrickx M, Dendoncker N, Dujardin S, Linard C, *et al.* Residential green space types, allergy symptoms and mental health in a cohort of tree pollen allergy patients. *Landscape and Urban Planning*. 2021;210:104070.
98. Rönmark E, Warm K, Bjerg A, Backman H, Hedman L, Lundbäck B. High incidence and persistence of airborne allergen sensitization up to age 19 years. *Allergy*. 2017;72(5):723-30.
99. Agnew M, Banic I, Lake IR, Goodess C, Grossi CM, Jones NR, *et al.* Modifiable risk factors for common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) allergy and disease in children : a case-control study. *Int J Environ Res Public Health*. 2018;15(7):1339.

100. Kim HY, Shin YH, Yum HY, Jee HM, Jang SJ, Yoon JW, et al. Patterns of sensitisation to common food and inhalant allergens and allergic symptoms in pre-school children. *J Paediatr Child Health*. 2013;49(4):272-7.
101. Yamazaki S, Shima M, Nakadate T, Ohara T, Omori T, Ono M, et al. Patterns of sensitization to inhalant allergens in Japanese lower-grade schoolchildren and related factors. *Int Arch Allergy Immunol*. 2015;167(4):253-63.
102. Dondi A, Tripodi S, Panetta V, Asero R, Businco ADR, Bianchi A, et al. Pollen-induced allergic rhinitis in 1360 Italian children : comorbidities and determinants of severity. *Pediatr Allergy Immunol*. 2013;24(8):742-51.
103. Wu L, Luo W, Hu H, Zheng X, Cheng ZJ, Huang D, et al. A multicenter study assessing risk factors and aeroallergens sensitization characteristics in children with self-reported allergic rhinitis in China. *J Asthma Allergy*. 2021;14:1453-62.
104. Inomata T, Nakamura M, Iwagami M, Sung J, Nakamura M, Ebihara N, et al. Individual characteristics and associated factors of hay fever : a large-scale mHealth study using AllerSearch. *Allergology International*. 2022;71(3):325-34.
105. Hatzler L, Panetta V, Illi S, Hofmaier S, Rohrbach A, Hakimeh D, et al. Parental hay fever reinforces IgE to pollen as pre-clinical biomarker of hay fever in childhood. *Pediatr Allergy Immunol*. 2014;25(4):366-73.
106. Lombardi C, Fiocchi A, Raffetti E, Donato F, Canonica GW, Passalacqua G, et al. Cross-sectional comparison of the characteristics of respiratory allergy in immigrants and Italian children. *Pediatr Allergy Immunol*. 2014;25(5):473-80.
107. Min JY, Min KB. Marijuana use is associated with hypersensitivity to multiple allergens in US adults. *Drug and Alcohol Dependence*. 2018;182:74-7.
108. Lynch SJ, Sears MR, Hancox RJ. Thumb-sucking, nail-biting, and atopic sensitization, asthma, and hay fever. *Pediatrics*. 2016;138(2):e20160443.
109. Office québécois de la langue française [En ligne]. Québec, Canada : Office québécois de la langue française; s. d. Phénologie. Disponible : <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26516447/phenologie>
110. D'Amato G, Holgate ST, Pawankar R, Ledford DK, Cecchi L, Al-Ahmad M, et al. Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization. *World Allergy Organ J*. 2015;8(1):25.
111. Dahl Å, Galán C, Hajkova L, Pauling A, Sikoparija B, Smith M, et al. The onset, course and intensity of the pollen season. Dans : Sofiev M, Bergmann KC, éditeurs. *Allergenic pollen : a review of the production, release, distribution and health impacts* [En ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands; 2013. Disponible : https://doi.org/10.1007/978-94-007-4881-1_3

112. Sofiev M, Prank M, Siljamo P, Soares J, Vira J, Kouznetsov R. Challenges in pollen modelling and forecasting.
113. Choi YJ, Lee KS, Oh JW. The Impact of climate change on pollen season and allergic sensitization to pollens. *Immunology and Allergy Clinics*. 2021;41(1):97-109.
114. Ziska LH. Climate, carbon dioxide, and plant-based aero-allergens : a deeper botanical perspective. [En ligne]. *Frontiers in Allergy*; 2021. Disponible : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/falgy.2021.714724>
115. Skjøth CA, Sommer J, Stach A, Smith M, Brandt J. The long-range transport of birch (*Betula*) pollen from Poland and Germany causes significant pre-season concentrations in Denmark. *Clin Exp Allergy*. 2007;37(8):1204-12.
116. Kim JH, Oh JW, Lee HB, Kim SW, Kang IJ, Kook MH, et al. Changes in sensitization rate to weed allergens in children with increased weeds pollen counts in Seoul metropolitan area. *J Korean Med Sci*. 2012;27(4):350-5.
117. Lee KS, Kim K, Choi YJ, Yang S, Kim CR, Moon JH, et al. Increased sensitization rates to tree pollens in allergic children and adolescents and a change in the pollen season in the metropolitan area of Seoul, Korea. *Pediatric Allergy and Immunology*. 2021;32(5):872-9.
118. Guryanova SV, Finkina EI, Melnikova DN, Bogdanov IV, Bohle B, Ovchinnikova TV. How do pollen allergens sensitize? *Front Mol Biosci*. 2022;9:900533.
119. D'Amato G, Liccardi G, Frenguelli G. Thunderstorm-asthma and pollen allergy. *Allergy*. 2007;62(1):11-6.
120. Wardman AED, Stefani D, MacDonald JC. Thunderstorm-associated asthma or shortness of breath epidemic : a Canadian case report. *Can Respir J*. 2002;9(4):267-70.
121. Price D, Hughes KM, Thien F, Suphioglu C. Epidemic thunderstorm asthma : lessons learned from the storm down-under. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology : In Practice*. 2021;9(4):1510-5.
122. Core Writing Team, H. Lee et J. Romero (eds.). Summary for policymakers. Dans : *Climate change 2023 : Synthesis Report* [En ligne]. Genève, Suisse : IPCC; 2023. Disponible : <https://dx.doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
123. IPCC [En ligne]. Genève, Suisse : IPCC; 2003. AR6 Synthesis report : climate change 2023. Disponible : <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
124. Gouvernement du Canada [En ligne]. Canada : Gouvernement du Canada; s. d. Profils représentatifs d'évolution de concentration. Disponible : <https://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=scen-rcp>
125. Lake IR, Jones NR, Agnew M, Goodess CM, Giorgi F, Hamaoui-Laguel L, et al. Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environ Health Perspect*. 2017;125(3):385-91.

126. Beggs PJ, Clot B, Sofiev M, Johnston FH. Climate change, airborne allergens, and three translational mitigation approaches [En ligne]. eBioMedicine; 2023. Disponible : [https://www.thelancet.com/journals/ebiom/article/PIIS2352-3964\(23\)00043-9/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/ebiom/article/PIIS2352-3964(23)00043-9/fulltext)
127. Sénéchal H, Visez N, Charpin D, Shahali Y, Peltre G, Biolley JP, et al. A review of the effects of major atmospheric pollutants on pollen grains, pollen content, and allergenicity. The Scientific World Journal. 2015;2015:e940243.
128. Sedghy F, Varasteh AR, Sankian M, Moghadam M. interaction between air pollutants and pollen grains : the role on the rising trend in allergy. Rep Biochem Mol Biol. 2018;6(2):219-24.
129. Li CH, Sayeau K, Ellis AK. air pollution and allergic rhinitis : role in symptom exacerbation and strategies for management. J Asthma Allergy. 2020;13:285-92.
130. Berry P, Blagden P, Campagna C, Egyed M, Enright P, Gosselin P, et al. Health of Canadians in a changing climate – Advancing our knowledge for action [En ligne]. Ottawa, Canada : Gouvernement du Canada; 2022. Disponible : <https://changingclimate.ca/health-in-a-changing-climate/>
131. Camalier L, Cox W, Dolwick P. The effects of meteorology on ozone in urban areas and their use in assessing ozone trends. Atmospheric Environment. 2007;41(33):7127-37.
132. Katz DSW, Batterman SA. Allergenic pollen production across a large city for common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). Landscape and Urban Planning. 2019;190:103615.
133. Cariñanos P, Casares-Porcel M. Urban green zones and related pollen allergy : a review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact. Landscape and Urban Planning. 2011;101(3):205-14.
134. Beaudoin M, Levasseur ME. Verdir les villes pour la santé de la population [En ligne]. Québec, Canada : Institut national de santé publique du Québec; 2017. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/publications/2265>
135. Sousa-Silva R, Smargiassi A, Kneeshaw D, Dupras J, Zinszer K, Paquette A. Strong variations in urban allergenicity risks due to poor knowledge of tree pollen allergenic potential. Sci Rep. 2021;11(1):10196.
136. Demers I. Stratégie québécoise de réduction de l'herbe à poux et des autres pollens allergènes [En ligne]. Québec, Canada : Gouvernement du Québec; 2015. Disponible : <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/2015/15-244-02W.pdf>
137. Alm B, Goksör E, Thengilsdottir H, Pettersson R, Möllborg P, Norvenius G, et al. Early protective and risk factors for allergic rhinitis at age 4½ yr. Pediatric Allergy and Immunology. 2011;22(4):398-404.
138. Canuel M, Lebel G. Epidemiology of allergic rhinitis in Quebec : from a 2008 population-based survey. Chronic Dis Inj Can. 2014;34(2-3):163-8.
139. Wu AC, Dahlin A, Wang AL. The role of environmental risk factors on the development of childhood allergic rhinitis. Children. 2021;8(8):708.

140. Leclerc JM, Lajoie P, Chevalier P. Asthme et allergies chez l'enfant, facteurs environnementaux et programmes de prévention [En ligne]. Québec, Canada : Institut national de santé publique du Québec; 2014. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/bise/article-principal-asthme-et-allergies-chez-l-enfant-facteurs-environnementaux-et-programmes-de-prevention>
141. Okada H, Kuhn C, Feillet H, Bach JF. The 'hygiene hypothesis' for autoimmune and allergic diseases: an update. *Clinical and Experimental Immunology*. 2010;160(1):1-9.
142. Uphoff E, Cabieses B, Pinart M, Valdés M, Antó JM, Wright J. A systematic review of socioeconomic position in relation to asthma and allergic diseases. *European Respiratory Journal*. 2015;46(2):364-74.

ANNEXE 1 STRATÉGIES DE RECHERCHE

Tableau A1-1 Stratégie de recherche pour les facteurs de risque environnementaux pour
Medline (R) ALL (Ovid)

#	Requête	Résultats
1	(*Allergens/ or *Hypersensitivity/ or *Rhinitis, Allergic, Seasonal/) and (*Pollen/ or *Ambrosia/ or exp *Poaceae/)	5,289
2	((pollen* adj1 (allerg* or sensiti#ation* or Hypersensitivit*)) or "hay fever" or (airborne adj1 allerg*) or pollinosis or (allerg* adj1 (rhinitis or disorder* or respiratory-disease*))).ti,kf.	17,141
3	or/1-2 [Concept de Pollens allergène/Allergies au pollen]	20,414
4	exp *Air Pollution/ or exp *Air Pollutants/ or Traffic-Related Pollution/	125,620
5	(stratospheric ozone/ or gases/ or carbon dioxide/ or carbon monoxide/ or greenhouse gases/ or hydrogen sulfide/ or nitrogen/ or nitrogen oxides/ or nitrogen dioxide/ or nitrous oxide/ or ozone/ or sulfur dioxide/ or (carbon monoxide* or carbon dioxide* or hydrogen sulfide* or hydrogen sulphide* or "H2S" or nitrogen oxide* or volatile organic* or "voc" or "nox" or sulfur dioxide* or "SO2" or sulfur oxide* or sulphur dioxide* or sulphur oxide*).ti,ab,kf.) and (pollut* or emit* or emission* or contaminat* or decontaminat*).ti,ab,kf.	55,672
6	((air or atmospher*) adj3 (pollut* or quality or wast* or contamin* or emission* or immission* or effluent* or acidification or contaminat* or degrad* or decontaminat* or purif* or restor*)) or ((gas or gases) adj3 (toxic* or noxious or releas* or purifi* or scrub* or emit* or waste* or vapo?r)) or afterburning or biogas or (burning adj3 fossil fuel*) or dust or fallout or fall-out or flaring or fly-ash or electrosmog or (greenhouse adj3 (gas or effect or effects or gases or emission*)) or particulate* or smog or smoke or soot or "sick building syndrome" or ((industrial or automobile* or traffic or freeway or highway or roadway or motorway or diesel or vehicle* or diesel or truck or trucks or lorry or lorries or taxi or taxis or tailpipe* or roadside* or "road side*" or autobus* or bus or buses) adj3 (exhaust* or emission* or emit* or fume or fumes or vapo?r*))).ti,ab,kf.	251,948
7	or/4-6 [Concept de pollution]	328,741
8	climate change/ or global warming/ or droughts/ or floods/ or greenhouse effect/ or Hot Temperature/ or Extreme Heat/ or Extreme Weather/ or Humidity/ or Lightning/ or Rain/ or Temperature/ or Wind/	441,599
9	((climate adj2 (change* or model?ing or predict* or resilience or sensitivity)) or desertification or "natural disaster*" or drought? or (earth adj2 warming) or flood* or "global temperature*" or "global warming" or "heat wave*" or hurricane* or meteorological or (ozone adj2 hole) or humidity or lightning or rain or ((extreme or severe or destructive) adj2 (temperature* or heat or weather* or storm* or hail or wind*))).ti,ab,kf.	193,590
10	or/8-9 [Concept de changement climatique]	570,693
11	"environment design"/ or "built environment"/	8,285
12	((built or man-made or manmade or urban or physical or design* or healthy or healthier) adj1 (environment* or surrounding* or infrastructure* or neighbo?rhood* or neighbo?r-hood* or facilit* or surrounding* or form)) or (environment* adj (attribute* or design* or feature* or measure*)) or (communit* adj (design* or layout*)) or ((urban or city or cities or town or towns or municipalit* or neighbo?rhood* or neighbo?r-hood*) adj2 (design* or form* or planning* or sprawl* or land-use* or landuse* or environment* or infrastructure*)) or (health* adj (city or cities or place*)) or ("land use" adj (design* or plan* or polic*)) or "recreational facilit*" or (green adj (space* or structure*)) or park or parks or "transport* infrastructure*" or street* or woonerf* or "green trail*" or "urban agriculture" or "community garden*").ti,ab,kf.	85,777
13	or/11-12 [Concept d'environnement bâti]	90,227
14	forests/ or trees/ or gardens/ or "parks, recreational"/	43,617

**Tableau A1-1 Stratégie de recherche pour les facteurs de risque environnementaux pour
Medline (R) ALL (Ovid) (suite)**

#	Requête	Résultats
15	(forest* or garden* or (green* adj2 (area* or city or cities or cover* or exercise* or infrastructure* or land* or neighborhood*)) or greening or greenness or greenspace* or nature* or (natural adj environment*) or park or parks or shrub* or trail* or tree* or vegetation or verdure or woodland* or woods).ti,ab,kf.	871,829
16	or/14-15 [Concept d'espaces verts]	878,308
17	7 or 10 or 13 or 16 [Liaisons des concepts pour obtenir les Facteurs de risques environnementaux]	1,726,887
18	3 and 17 [Allergies/allergènes et facteurs environnementaux]	3,697
19	18 not (exp animals/ not humans/) [Pour éliminer plusieurs études sur les animaux]	3,550
20	19 not (immunotherapy or mouse or mice or dust mite*).ti. [Enlever les études sur les souris et les études d'immunothérapie]	2,966
21	20 and (french or english).lg.	2,554
22	..l/ 21 yr=2013-3000 [Limite de temps de 2013 à ce jour]	1,108

**Tableau A1-2 Stratégie de recherche pour les facteurs de risque individuels pour Medline
(Ovid)**

#	Requête	Résultats
1	(*Allergens/ or *Hypersensitivity/ or *Rhinitis, Allergic, Seasonal/) and (*Pollen/ or *Ambrosia/ or exp *Poaceae/)	5,290
2	((pollen* adj1 (allerg* or sensiti#ation* or Hypersensitivit*)) or "hay fever" or (airborne adj1 allerg*) or pollinosis or (allerg* adj1 (rhinitis or disorder* or respiratory-disease*))).ti,kf.	17,185
3	or/1-2 [Concept de Pollens allergène/Allergies au pollen]	20,458
4	3 not (immunotherapy or mouse or mice or dust mite* or polymorphism? or gene? or genetic? or allele? or genotype?).ti. [Enlever les études sur les souris, les études d'immunothérapie et génétique]	17,705
5	4 and (french or english).lg.	14,760
6	..l/ 5 yr=2013-3000 [Limite de temps de 2013 à ce jour pour le concept de Pollens allergènes/Allergies au pollen]	5,713
7	Ethnicity/ or Social Class/ or Socioeconomic Factors/ or Economic Status/ or Poverty/ or Poverty Areas/ or Residence Characteristics/ or "Emigrants and Immigrants"/	344,080
8	(socioeconomic* or socio-economic* or demographic* or ethnic* or immigrant* or "first nation*" or income* or remuneration or (living adj2 standard*) or inequalit* or poverty or ((economic or social) adj3 (Factor? or characteristic?)) or (social adj1 Inequalit*) or (Standard* adj3 Living) or (Land adj1 Tenure)).ti,ab,kf.	963,137
9	Social Determinants of Health/ or (Determinant* adj3 Health).ti,ab,kf.	24,484
10	"health disparate, minority and vulnerable populations"/ or ((Health-Disparat* or minorit* or vulnerable*) adj3 Population*).ti,ab,kf.	27,557
11	Health Behavior/ or Health Risk Behaviors/ or (Health* adj3 behavior*).ti,ab,kf.	102,432
12	exp Life Style/ or (lifestyle* or life-style* or healthy or (Ag?ing adj1 Well) or (life adj1 (change* or Experience* or Course*)) or Sedentary or (Physical adj1 Inactivity) or (Lack adj3 "Physical Activity")).ti,ab,kf.	1,222,557
13	exp smoking/ or (smoking or vaping* or vape?).ti,ab,kf.	322,750
14	Protective Factors/ or (protective adj1 factor*).ti,ab,kf.	32,680
15	Risk Factors/ or Risk Assessment/ or ((risk? adj1 (factor? or score? or population? or Assessment?)) or (Health adj1 Correlate?)).ti,ab,kf.	1,642,821
16	or/7-15 [Facteurs individuels (tous)]	3,792,288
17	cohort studies/ or longitudinal studies/ or follow-up studies/ or prospective studies/ or retrospective studies/ or (cohort or "Follow up" or longitudinal or prospective or retrospective).ti,ab,kf.	3,803,444
18	Epidemiologic studies/ or exp case control studies/ or Cross-sectional studies/ or ((epidemiologic adj (study or studies)) or Case control or Cross sectional).ti,ab,kf.	2,093,163
19	multicenter study/ or "Multicenter Studies as Topic"/ or (multicenter or multicentered or multi-centered or multi-center or multicentre or observational).ti,ab,kf. or (multicenter study or observational study).pt.	701,643
20	or/17-19 [Types d'études]	4,785,865
21	6 and 16 and 20 [Liaisons des concepts allergies et Facteurs individuels et types d'études]	700

ANNEXE 2 GRILLES D'EXTRACTION ET D'ANALYSE DES ARTICLES INCLUS DANS LA REVUE DE LITTÉRATURE

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques à court terme sur les concentrations de pollen

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Jetschni <i>et al.</i> , 2023 (23)	Australie/Sydney	Volumétrique - Burkard (1 site) et Durham (10 sites)/4 ans	Graminées, herbacées (Myrtaceae) et arbres (Cupressaceae)	Température Précipitation Humidité Vitesse du vent	+ - - +/-	Corrélations positives entre la température (min., max., moyenne) annuelle et la concentration de pollen. Corrélations négatives entre les concentrations de pollen journalières et le volume de précipitation, ainsi que l'humidité relative négative.

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques à court terme sur les concentrations de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Rahman <i>et al.</i> , 2019 (28)	Chine/ Guangzhou	Volumétrique - NS (2 sites)/1 an	Plusieurs	Température Humidité Précipitation Vent	+/- -/NS - +	Corrélation positive entre la température et la concentration de pollen d'arbres, mais négative pour les pollens de mauvaises herbes. Corrélation négative entre les concentrations de pollen et le volume de précipitation ainsi que l'humidité relative.
Bishan <i>et al.</i> , 2020 (21)	Chine/ Zhanjiang	<i>TSP pollen collector</i> (1 site)/1 an	Plusieurs	Température Humidité Précipitation Vent Rayonnement solaire	+ - NS NS +	Le printemps, les concentrations de pollen sont surtout corrélées positivement à la température. L'automne, les concentrations de pollen sont corrélées avec l'humidité et la température.

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques à court terme sur les concentrations de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Plaza <i>et al.</i> , 2016 (38)	Espagne/ Cordoba	Volumétrique- Hirst type (1 site)/3 ans	Graminées (Poaceae/Phl p 5)	Température Humidité Vitesse vent Précipitation	+/- - -/NS -	Corrélation positive entre les concentrations de pollen dans l'air et la température pour 2012 et 2013, mais négative pour 2014. Corrélation négative pour la concentration de pollen dans l'air et l'humidité relative ainsi que le volume de précipitation quotidienne.

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques à court terme sur les concentrations de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Rojo <i>et al.</i> , 2015 (36)	Espagne/ Guadalajara	Volumétrique - Burkard (1 site)/6 ans	Plusieurs	Température Précipitation Humidité relative Rayonnement solaire Vitesse du vent	+ - (certains pollens) - (certains pollens) + (certains pollens) - (certains pollens)	Corrélation positive entre le pollen quotidien dans l'air et la température ainsi qu'avec le rayonnement solaire pour certains pollens (quercus et Poaceae). Corrélation négative entre le nombre de grains de pollen dans l'air de plusieurs espèces et l'humidité relative ainsi que le volume de précipitation et la vitesse du vent pour deux espèces (Cupressaceae et Populus).

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques court à terme sur les concentrations de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Elvira-Rendueles <i>et al.</i> , 2017 (20)	Espagne/Murcia, Almeria et Cartagena	Volumétrique - Hirst (3 sites)/5 ans	Herbacées (Amaranthaceae)	Température Précipitation	+ -	Corrélation positive entre les concentrations de pollen dans l'air et la température pour la saison. Corrélation négative entre les concentrations de pollen et le volume de précipitation durant la saison du pollen. Corrélation positive avec le volume de précipitation pour les saisons précédentes.

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques à court terme sur les concentrations de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Anton <i>et al.</i> , 2020 (22)	Espagne/ Salamanca	Volumétrique - Burkard (2 sites)/2 ans	Plusieurs	Température Rayonnement solaire Précipitation Humidité Vitesse du vent	+/- +/- - - +/-	Corrélation positive entre la concentration de plusieurs pollens et la température, ainsi que le nombre d'heures de rayonnement solaire. Corrélation négative entre la concentration de pollen et le volume de précipitation ainsi que l'humidité relative.
Nikolaidis <i>et al.</i> , 2016 (26)	Grèce/ Alexandroupolis	Volumétrique - Burkard (1 site)/1 an	Plusieurs	Température Humidité Vent	+ -/NS +	Corrélation positive entre les concentrations de pollen totales (tous types confondus) et la température moyenne ainsi que la vitesse du vent. Les concentrations de certains pollens étaient associées de façon négative à l'humidité relative.

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques à court terme sur les concentrations de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Kruczek <i>et al.</i> , 2015 (25)	Pologne/ Gudowo	Volumétrique - Lanzoni (1 site)/3 ans	Arbres (Alnus L., Corylus L. et Betula L.)	Température Précipitation Humidité	+/- - (Alnus)/NS -/+	Corrélation négative entre les concentrations de pollen Alnus et Corylus et la température (min., max. et moyenne). Corrélation positive entre Betula et température. Corrélation négative avec l'humidité relative et les pollens, sauf Corylus.
Scevkova <i>et al.</i> , 2021 (48)	Slovakia/ Bratislava	Volumétrique - Burkard (1 site)/2 ans	Graminées (Poaceae)	Température Rayonnement solaire Humidité Précipitation	NS NS - -	L'humidité relative et la précipitation avait une corrélation négative significative.

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques à court terme sur les concentrations de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Alan <i>et al.</i> , 2018 (27)	Turquie/Ankara et Zonguldak	Volumétrique - Hirst (2 sites)/2 ans	Graminées (Poaceae)	Température Précipitation Humidité	+/- NS +	Corrélation négative entre la température et la concentration de pollen dans l'air en 2015, mais positive en 2016. Corrélation positive entre la température et les allergènes de pollen dans l'air. Corrélation positive en 2016 entre l'humidité relative et la concentration de pollen, mais négative pour les allergènes.
Antomonov <i>et al.</i> , 2018 (19)	Ukraine/ Vinnytsya	Volumétrique - Burkard (1 site)/3 ans	Herbacées et graminées	Humidité Température Vitesse du vent	- + NS	Corrélation positive entre les concentrations de pollen et la température, et négative avec l'humidité relative.

Tableau A2-1 Influence des facteurs météorologiques à court terme sur les concentrations de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Gross <i>et al.</i> , 2019 (24)	États-Unis/ Denver	Volumétrique - Burkard (1 site)/9 ans	Plusieurs	Température Humidité Vent	+ - +/NS	Corrélation positive entre la moyenne de température et la concentration journalière de pollen de graminées et d'arbres. Aucune association significative pour les pollens de mauvaises herbes. L'humidité relative était négativement associée aux concentrations de graminées et de pollen d'arbres dans l'air.

Tableau A2-2 Impacts des facteurs météorologiques à long terme sur la concentration de pollen

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Bruffaerts <i>et al.</i> , 2018 (34)	Belgique/ Bruxelles	Volumétrique - Hirst-type (1 site)/34 ans	Herbacées et arbres	Température Rayonnement solaire Humidité Précipitation Vitesse du vent	+ + - - +/-	Corrélation positive entre la température (min., max., moyenne) et la concentration quotidienne de pollen dans l'air pour la plupart des pollens étudiés. Corrélation négative entre la concentration de pollen dans l'air et le volume de précipitation et l'humidité relative. Les corrélations annuelles vont dans les mêmes directions que les corrélations quotidiennes.
Carinanos <i>et al.</i> , 2014 (46)	Espagne/ Cordoba	Volumétrique - Lanzoni (1 site)/21 ans	Herbacées (Amaranthaceae)	Température Précipitation	- (printemps) + (printemps)	Corrélation négative entre le total de grains de pollen pour la saison et la température (max.) au printemps. Corrélation positive entre la pluie au printemps et la concentration maximale de pollen quotidienne.

Tableau A2-2 Impacts des facteurs météorologiques à long terme sur la concentration de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Ruiz-Valenzuela et Aguilera, 2018 (40)	Espagne/ Jaen	Volumétrique - Hirst-type (1 site)/23 ans	Plusieurs (arbres et herbacées)	Température (saison)	+/-	Corrélation positive entre la température maximale et la somme des concentrations de pollen pour l'année (SPIn) pour les pollens d'arbres. Corrélation positive entre la température et la date de début de la saison et la durée de la saison. Des corrélations inverses ont été observées pour les mauvaises herbes.
Gonzalez-Parrado <i>et al.</i> , 2014 (39)	Espagne/ Leon	Volumétrique - Burkard (1 site)/17 ans	Herbacées (Plantago)	Température Précipitation Humidité Rayonnement solaire	+ - - +	Corrélation négative entre la concentration de pollen dans l'air et le volume de précipitation ainsi que l'humidité relative pour l'année pour la majorité des années étudiées. Corrélation positive entre la température (min., max., moyenne) et la concentration de pollen dans l'air annuelle.

Tableau A2-2 Impacts des facteurs météorologiques à long terme sur la concentration de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Alvarez-Lopez <i>et al.</i> , 2022 (29)	Espagne/ Ourense	Volumétrique - Lanzoni (1 site)/11 ans	Arbres (Platanus)	Température Précipitation Humidité Vent	+ - - + (2010)/NS	Corrélation positive entre la température (max. et moyenne) et la concentration de pollen dans l'air. Corrélation négative avec la température minimale en 2015. Corrélation négative entre la concentration de pollen dans l'air et l'humidité relative ainsi que le volume de précipitation.
Gonzalez-Fernandez <i>et al.</i> , 2022 (30)	Espagne/ Ourense	Volumétrique - Lanzoni (1 site)/28 ans	Graminées (Poaceae)	Température Précipitation Rayonnement solaire	+ - +	Corrélation positive entre les pollens dans l'air et la température quotidienne, ainsi que le nombre d'heures de rayonnement solaire. Corrélation négative entre les pollens dans l'air et le volume de précipitation durant la saison des graminées.

Tableau A2-2 Impacts des facteurs météorologiques à long terme sur la concentration de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Bogawski <i>et al.</i> , 2014 (47)	Pologne/ Poznan	Volumétrique - Hirst type (1 sites)/15 ans	Herbacées et graminées	Température (saison)	- (Artemisia)	Corrélation négative entre la température de juin à septembre et la somme des concentrations de pollen pour la saison (SPIn) pour les mauvaises herbes. Aucune association entre Rumex et Urticaceae et la température.
Malkiewicz <i>et al.</i> , 2016 (53)	Pologne/ Wroclaw	Volumétrique - Burkard (1 site)/11 ans	Arbres (bouleau, Corylus, Alnus)	Température (printemps)	+/-	Corrélation négative entre la température au printemps et la concentration quotidienne de pollen de Corylus, de Betula et d'Alnus dans l'air. Corrélation positive entre la température des mois précédents (novembre- décembre) et le début de la saison pour le Corylus et l'Alnus.

Tableau A2-2 Impacts des facteurs météorologiques à long terme sur la concentration de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Ianovici et Birsan, 2020 (31)	Romanie/ Timisoara	Volumétrique - Hirst (1 site)/10 ans	Herbacées (Ambroisie)	Température (annuelle) Humidité (annuelle) Rayonnement solaire (annuel) Précipitation (annuelle) Vitesse du vent (annuel) Température (jour) Rayonnement solaire (jour) Vitesse de vent (jour) Précipitation (jour)	+ - + NS NS - /NS + (2002) - (2003) NS	Corrélation positive entre la concentration de pollen dans l'air et la température ainsi que le nombre d'heures de rayonnement solaire pour l'année complète. Corrélation négative entre l'humidité relative et la concentration de pollen annuelle. Moins de corrélation significative pour les données journalières.
Frei, 2020 (52)	Suisse/ Basel	Volumétrique - Burkard (1 site)/50 ans	Arbres (Corylus et Betula) et graminées	Température	+ (Corylus)/NS	Augmentation du nombre de grains de pollen annuel de Corylus positivement corrélée à la température annuelle, mais aucune corrélation pour le pollen de Betula et de Poaceae. Déplacement du début et de la fin de la saison de pollen corrélé avec la température.

Tableau A2-2 Impacts des facteurs météorologiques à long terme sur la concentration de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Manangan <i>et al.</i> , 2021 (49)	États-Unis/ Atlanta	Rotorod (1 site)/27 ans	Plusieurs	Température Précipitation	+ (début de saison) +	La température au printemps est liée à un début de saison précoce, mais n'est pas liée à une saison avec des concentrations plus intense. Précipitation à l'automne l'année précédente liée de façon positive à la concentration de certains pollens (pin et des herbacées). Aucune association significative pour les concentrations de pollen quotidiennes en automne.
Flonard <i>et al.</i> , 2018 (32)	États-Unis/ Oklahoma	Volumétrie - Burkard (1 site)/29 ans	Arbres (Cupressaceae)	Température Précipitation Humidité Vitesse du vent	+ - - +	Corrélation positive entre la concentration de pollen quotidienne et la température (min., moyenne, max.) ainsi que pour la vitesse du vent. Corrélation négative entre la concentration de pollen quotidienne et l'humidité relative ainsi que le volume de précipitation.

Tableau A2-2 Impacts des facteurs météorologiques à long terme sur la concentration de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Paudel <i>et al.</i> , 2021 (33)	États-Unis/ San Francisco	Volumétrique - Burkard (1 site)/18 ans	Plusieurs	Température Précipitation	+/- +/-	Corrélation positive entre la température et les concentrations de pollen dans l'air pour la semaine même. Corrélation positive entre le volume de précipitation dans les semaines précédentes (0-4) (0-12) et les concentrations de pollen d'arbres dans l'air. Corrélation négative pour la semaine même.

**Tableau A2-3 Influences du climat à long terme sur les concentrations de pollen dans des études avec plusieurs sites/capteurs
(grande échelle géographique)**

Auteurs et date	Pays ou région/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Rojo <i>et al.</i> , 2021 (50)	Allemagne/ Bavaria	Volumétrique - Hirst-type (8 sites) 10-30 ans	Plusieurs	Température Précipitation (printemps)	NS + (graminées)	Corrélation positive entre le début et la fin de saison avec la température en hiver (février) et au printemps (avril), mais aucune corrélation avec l'intensité de la saison. Précipitation au printemps positivement corrélée à l'intensité de la saison du pollen de graminées.
de Weger <i>et al.</i> , 2021 (35)	Belgique et Hollande	Volumétrique hirst-type (4 sites)/ 39 = 44 ans	Plusieurs	Température Rayonnement solaire	+ +	Corrélation positive entre la température ainsi que le nombre d'heures de rayonnement solaire et la concentration de pollen de bouleau dans l'air. Aucune association significative pour <i>Alnus</i> et <i>Poaceae</i> .

**Tableau A2-3 Influences du climat à long terme sur les concentrations de pollen dans des études avec plusieurs sites/capteurs
(grande échelle géographique) (suite)**

Auteurs et date	Pays ou région/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Besancenot <i>et al.</i> , 2019 (45)	France	Volumétrie - Hirst (6-7 sites)/ 24-32 ans	Graminées (Poaceae) et arbres (Betula)	Température (annuelle)	+/-	Augmentation de la concentration de pollen de bouleau dans l'air corrélée à l'augmentation de la température annuelle. Diminution de concentration de pollen de Poaceae dans l'air corrélée à l'augmentation de la température annuelle.
Kishikawa et Koto, 2021 (43)	Japon	Durham (26 sites)/ 2-33ans	Arbres (cèdre et cypres japonais)	Température (année précédente)	+	Corrélation positive entre la température en juillet et en août et le total de pollens pour la saison pour les deux types de pollen.

**Tableau A2-3 Influences du climat à long terme sur les concentrations de pollen dans des études avec plusieurs sites/capteurs
(grande échelle géographique) (suite)**

Auteurs et date	Pays ou région/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Khwarahm <i>et al.</i> , 2014 (37)	Royaume-Uni	Volumétrie - Hirst (9 sites)/11 ans	Graminées et arbres (Betula)	Température Précipitation Rayonnement solaire Vent	+/- - + - (bouleau)	Corrélation négative entre le nombre de grains de pollen dans l'air et le volume de précipitation. Corrélation positive avec le nombre d'heures de rayonnement solaire quotidien. Corrélation positive entre le nombre de grains de pollen journalier dans l'air et la température, mais la direction de l'association dépend du temps de la saison. Corrélation négative en fin de saison.

**Tableau A2-3 Influences du climat à long terme sur les concentrations de pollen dans des études avec plusieurs sites/capteurs
(grande échelle géographique) (suite)**

Auteurs et date	Pays ou région/Ville	Capteurs/ Période	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)	Résultats/Constats
Zhang <i>et al.</i> , 2015 (41)	États-Unis	Plusieurs types (50 sites)/ 10 ans	Plusieurs	Température annuelle Précipitation annuelle	+ +/-	Corrélation positive entre la température et les concentrations de pollen totales annuelles. Corrélation avec les concentrations de pollen dans l'air et le volume de précipitation annuel, peut être négatif ou positif dépendant de la quantité. Allongement de la saison lié à l'augmentation du nombre de jours sans gel. Début de saison lié au nombre de degrés jours de croissance.
Ziska <i>et al.</i> , 2019 (42)	Hémisphère Nord	Volumétrique - Hirst type) (17 sites)/ 18 ans	Plusieurs	Température	+	L'augmentation cumulative de température maximale annuelle est corrélée au pourcentage d'augmentation du nombre de grains de pollen.
Anderegg <i>et al.</i> , 2021 (44)	Amérique du Nord	Variable - volumétrique ou rotation (60 sites)/ 28 ans	Plusieurs	Température	+	Augmentation des concentrations totales de pollen au cours de 28 ans de 21 % et allongement de la saison du pollen de 20 % corrélé à l'augmentation de température.

Tableau A2-4 L'influence de la température sur l'allergénicité et la croissance du pollen

Auteurs et date	Pays	Design	Type de pollen	Mesure environnementale	Direction de l'association (+/-)
Cheng <i>et al.</i> , 2023 (55)	Allemagne/ Munich	Expérimental	Ambroisie	Température (contrôle contre haute température [+ 4 °C])	+ allergénicité
Gentili <i>et al.</i> , 2019 (54)	Italie	Expérimental	Ambroisie	Température (basse (18-14 °C), intermédiaire (24-20 °C) et élevée (30-26 °C))	+ (allergénicité)
Ghiani <i>et al.</i> , 2016 (56)	Italie	Expérimental	Ambroisie (Amb a 1)	Variabilité climatique (température, humidité, lumière)	+ (allergénicité)

Tableau A2-5 Les allergies aux pollens et facteurs météorologiques

Auteurs et date	Pays	Design	Méthodes d'évaluation d'allergie (n)	Type de pollen	Facteur environnemental/ Polluant de l'air	Direction de l'association (+/-)
Jiang et Yan, 2022 (59)	Chine/ Shenyang	Série chronologique	Consultation pour la rhinite allergique (10 838)	Plusieurs	Température Précipitation Humidité	Aucune
Cabrera <i>et al.</i> , 2019 (57)	Espagne/ Madrid	Cas croisé	Symptômes d'allergie journaliers des patients inclus dans l'étude (n = 48)	Graminées	Température	+
Schreurs <i>et al.</i> , 2022 (58)	Pays-Bas	Longitudinal	Patients se présentant chez leur médecin pour des symptômes de rhinite allergique saisonnière (40 956)	Plusieurs	Température	+
Lohmus <i>et al.</i> , 2022 (63)	Suède	Série chronologique	Visite pour des symptômes respiratoires (737,377)	Arbres (bouleau)	Symptomatologie d'asthme lors d'orage (nombre d'éclairs)	+

Tableau A2-5 Les allergies aux pollens et facteurs météorologiques (suite)

Auteurs et date	Pays	Design	Méthodes d'évaluation d'allergie (n)	Type de pollen	Facteur environnemental/ Polluant de l'air	Direction de l'association (+/-)
Sapkota <i>et al.</i> , 2019 (62)	États-Unis	Transversal	Individus ayant été diagnostiqués dans les derniers 12 mois (NHIS) (26 565)	Plusieurs	Date de début de la saison pollinique (SOS)	+
Upperman <i>et al.</i> , 2017 (61)	États-Unis	Transversal	Questionnaire sur la présence de diagnostic dans les 12 derniers mois (505 386)	Plusieurs	Température (chaleur extrême)	+ (symptômes dans les 12 derniers mois) (pour les chaleurs extrêmes au printemps)
Silverberg <i>et al.</i> , 2015 (60)	États-Unis	Transversal	Prévalence de rhume des foins chez les enfants (NSCH) (91 642)	Plusieurs	Condition chaude, sèche avec un haut indice de rayonnement ultraviolet (UV) Condition humide, moins chaude et peu de précipitation	+ -

Tableau A2-6 Association entre les polluants atmosphériques et la concentration de pollen présent dans l'air

Auteurs et date	Pays ou région	Type d'étude	Type de pollen	Mesure environnementale/Polluant de l'air (concentration)	Direction de l'association (+/-)
Anderegg <i>et al.</i> , 2021 (44)	Amérique du Nord (60 villes)	Environnementale	Plusieurs (tous types confondus)	CO ₂	+
Rahman <i>et al.</i> , 2019 (28)	Chine/ Guanzhou	Environnementale	Plusieurs	PM _{2,5} , O ₃ NO ₂ PM ₁₀ , CO, SO ₂	+ - Aucune
Kim <i>et al.</i> , 2018 (66)	Corée	Expérimentale	Arbres (chênes)	CO ₂ (560 ppm et 720 ppm contre 400 ppm)	+
Albertine <i>et al.</i> , 2014 (65)	États-Unis	Expérimentale	Graminées (fléole des prés)	CO ₂ (800 contre 400 ppm) O ₃	+ Aucune
Paudel <i>et al.</i> , 2021 (33)	États-Unis/ San Francisco	Environnementale	Plusieurs	CO ₂	Aucune
Pavon-Romero <i>et al.</i> , 2022 (64)	Mexique/ Mexico city	Environnementale	Plusieurs	PM _{2,5} , CO, NO, NO _x , PM ₁₀ , NO ₂ , PMCo, SO ₂	+ +/-

Tableau A2-7 Association entre les polluants atmosphériques et l'allergénicité des grains de pollen

Auteurs et date	Pays	Type d'étude	Type de pollen	Mesure d'allergénicité	Polluant de l'air (concentration)	Direction de l'association (+/-)
Cheng <i>et al.</i> , 2023 (55)	Allemagne	Expérimentale	Herbe à poux	Composantes sur le grain modifiant la réaction allergique	NO ₂ (80 ppb)	+
Zhao <i>et al.</i> , 2016 (69)	Allemagne	Expérimentale	Herbe à poux	Quantité de protéine allergène	NO ₂ (80 ppb contre 40 ppb)	+
El Kelish <i>et al.</i> , 2014 (75)	Allemagne	Expérimentale	Herbe à poux	Quantité de protéine allergène	CO ₂ (700 ppm contre 380 ppm)	+
Rauer <i>et al.</i> , 2021 (74)	Allemagne	Expérimentale	Herbe à poux	Stimulation de cellules épithéliales nasales	CO ₂ (700 ppm contre 380 ppm)	+
Beck <i>et al.</i> , 2013 (71)	Allemagne/ Munich	Environnementale	Arbres (bouleau blanc)	Quantité de protéine allergène	O ₃ , NO ₂ (milieux urbains)	+
Garcia-Gallardo <i>et al.</i> , 2013 (78)	Espagne	Environnementale	Arbres (pin)	Réactivité des IgE sanguines envers l'allergène	NO, NO ₂ , NO _x , SO ₂ , PM ₁₀ (milieux urbains pollués contre moins pollués)	-
Galveias <i>et al.</i> , 2021 (72)	Espagne	Expérimentale	Graminées (herbe du verger)	Composantes sur le grain	NO ₂ (200 ug/m ³) O ₃ (120 ug/m ³)	Aucune +
Mattei <i>et al.</i> , 2022 (70)	Italie/ Florence	Environnementale	Arbres (cypres commun)	Quantité de protéine allergène	NO ₂ (milieux urbains)	+
Stawoska <i>et al.</i> , 2023 (77)	Pologne/ Malospolska	Environnementale	Arbres (bouleau blanc)	Quantité de protéine allergène	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO _x (milieux urbains pollués contre milieux ruraux)	-

Tableau A2-7 Association entre les polluants atmosphériques et l'allergénicité des grains de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays	Type d'étude	Type de pollen	Mesure d'allergénicité	Polluant de l'air (concentration)	Direction de l'association (+/-)
Ribeiro <i>et al.</i> , 2014 (73)	Portugal	Expérimentale	Arbres (érable negundo, platane commun et chêne pédonculé)	Quantité de protéine allergène	O ₃ (0,029-0,235 ppm)	+/-
Cuinica <i>et al.</i> , 2014 (67)	Portugal	Expérimentale	Arbres (bouleau argenté, charme-houblon et charme européen)	Réactivité des IgE sanguines envers l'allergène	NO ₂ (0,034 ppm et 0,067 ppm)	+
Cuinica <i>et al.</i> , 2015 (76)	Portugal	Expérimentale	Arbres (bouleau argenté, charme-houblon et charme européen)	Réactivité des IgE sanguines envers l'allergène	CO, O ₃ , SO ₂	+
Fernandez-Gonzalez <i>et al.</i> , 2023 (51)	Portugal	Expérimentale	Graminées (herbe du verger)	Réactivité des IgE sanguines envers l'allergène	NO ₂ (0,025 ppm) O ₃ (0,061 ppm)	+ +/-
Ribeiro <i>et al.</i> , 2017 (68)	Portugal	Expérimentale	Arbres (platane commun)	Réactivité des IgE sanguines envers l'allergène	O ₃ (0,061 ppm) NO ₂ (0,025 ppm)	+/- +
Albertine <i>et al.</i> , 2014 (65)	États-Unis	Expérimentale	Graminées (fléole des prés)	Quantité de protéine allergène	O ₃ (80 ppb contre 30 ppb) CO ₂ (800 ppm contre 400 ppm)	- Aucune

Tableau A2-7 Association entre les polluants atmosphériques et l'allergénicité des grains de pollen (suite)

Auteurs et date	Pays	Type d'étude	Type de pollen	Mesure d'allergénicité	Polluant de l'air (concentration)	Direction de l'association (+/-)
Kim <i>et al.</i> , 2018 (66)	Corée	Expérimentale	Arbres (chêne du Japon)	Quantité de protéine allergène	CO ₂ (560 ppm et 720 ppm contre 400 ppm)	+

Tableau A2-8 Association entre les polluants atmosphériques et la manifestation/prévalence des symptômes d'allergie aux pollens

Auteurs et date	Pays ou région/Ville	Design	Méthodes d'évaluation d'allergie (n)	Type de pollen	Facteur environnemental/Polluant de l'air	Direction de l'association (+/-)
Batra <i>et al.</i> , 2022 (85)	Australie/ Melbourne	Cas croisé	Hospitalisation pour l'asthme (enfants) (n = 135)	Plusieurs	PM _{2,5} , NO ₂	Aucune
Jones <i>et al.</i> , 2021 (81)	Australie/ Tasmania	Série chronologique	Symptômes d'utilisateurs d'une application (n = 2 272)	Plusieurs	PM _{2,5}	+
Berger <i>et al.</i> , 2020 (86)	Autriche/ Vienne	Cas croisé	Symptômes d'utilisateurs d'une application (n = 1 048 Betula; n = 1 063 graminées; n = 193 herbes à poux)	Arbres (bouleau), graminées, herbacées (herbe à poux)	O ₃ PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , SO ₂	+ Aucune
Jiang et Yan, 2022 (59)	Chine/ Shenyang	Série chronologique	Consultations médicales pour le pollinose (n = 10 838)	Plusieurs	PM _{2,5} , PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂	+
Cabrera <i>et al.</i> , 2019 (57)	Espagne/ Madrid	Cas croisé	Symptômes d'utilisateurs d'une application (n = 48)	Graminées	O ₃ , PM ₁₀ CO, SO ₂ , NO ₂	+ Aucune
Ito <i>et al.</i> , 2015 (84)	États-Unis/ New-York	Série chronologique	Hospitalisation pour l'asthme (NS)	Arbres	O ₃ PM _{2,5}	+ Aucun

Tableau A2-8 Association entre les polluants atmosphériques et la manifestation/prévalence des symptômes d'allergie aux pollens (suite)

Auteurs et date	Pays ou région/Ville	Design	Méthodes d'évaluation d'allergie (n)	Type de pollen	Facteur environnemental/Polluant de l'air	Direction de l'association (+/-)
Bedard <i>et al.</i> , 2020 (79)	Europe	Transversal	Symptômes d'utilisateurs d'une application (n = 3 323)	Arbres et graminées	O ₃ , PM _{2,5}	+ (seulement pour les graminées)
Phosri <i>et al.</i> , 2017 (83)	Japon/ Fukuoka	Cas croisé	Consultations médicales pour pollinose (n = 73 995)	Arbres (cèdre du Japon et cyprès du Japon)	PM _{2,5} NO ₂ , SO ₂ , O ₃ , CO	+ Aucune
Konishi <i>et al.</i> , 2014 (82)	Japon/ Tokyo	Cas croisé	Consultations médicales pour pollinose (n = 11 713)	Arbres (cèdre du Japon et cyprès du Japon)	PM _{2,5} , SPM (particules en suspension)	+

Tableau A2-9 L'association entre la concentration de pollen dans l'air et l'environnement bâti ou urbain

Auteurs et date	Pays/Ville	Design	Type de pollen	Environnement	Résultats/Constats
Werchan <i>et al.</i> , 2017 (88)	Allemagne/ Berlin	Environnemental	Arbres (bouleau), mauvaises herbes et graminées	Urbain Semi-urbain	Plus de grains de pollen de bouleaux dans les capteurs en milieu semi-urbain que les capteurs en ville. Plus de pollens de graminées dans les capteurs près des terres agricoles ou de prairie. Pollens de mauvaises herbes dépendent de l'environnement autour de chaque capteur.
Anton <i>et al.</i> , 2020 (22)	Espagne/ Salamanca	Environnemental	Plusieurs	Centre-ville et semi-urbain	Concentration de pollen plus élevée dans les milieux semi-urbains que dans le centre-ville.
Kasprzyk <i>et al.</i> , 2019 (89)	Pologne/ Rzeszow	Environnemental	Plusieurs	3 Parcs (semi-urbain, centre-ville et en périphérie de la ville)	Le potentiel allergique est plus grand pour le parc en périphérie de la ville et dans le centre-ville que celui semi-urbain. Le nombre total de grains de pollen est le plus haut pour le parc au centre-ville.
Jetschni <i>et al.</i> , 2023 (23)	Australie/ Sydney	Environnemental	Arbres (cyprès) et graminées	Différente utilisation des sols (ex. urbain, forêt, prairie) (100 m)	Aucune association significative entre les types d'utilisation des sols et les concentrations de pollen dans l'air. Une corrélation positive entre les milieux « basse végétation et prairie » et le pollen de cyprès.

Tableau A2-9 L'association entre la concentration de pollen dans l'air et l'environnement bâti ou urbain (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Design	Type de pollen	Environnement	Résultats/Constats
Zapata-Marin <i>et al.</i> , 2022 (87)	Canada/ Toronto	Environnemental	Plusieurs	Utilisation des sols : Industrielle Commerciale	Concentration de pollen d'arbres dans l'air est associée de façon positive aux utilisations de sol commerciales et de façon négative avec les milieux industriels. Les concentrations de pollen de graminées et de mauvaises herbes sont associées de façon positive aux milieux avec des espaces industriels.
Weinberger <i>et al.</i> , 2018 (90)	États-Unis/ New-York	Environnemental	Arbres	Canopée des arbres (0,5 km)	Grande variation des pollens d'arbres. Les espèces d'arbres présentes dans la canopée sont représentatives des pollens captés.

Tableau A2-100 L'association entre la présence de certains types d'espace vert et les symptômes/prévalence

Auteurs et date	Pays/Ville	Design	Méthodes d'évaluation d'allergie (n)	Type de pollen	Environnement/Exposition	Résultats/Constats
Markevych <i>et al.</i> , 2020 (92)	Allemagne/ Leipzig	Longitudinal	Statut de sensibilisation aux pollens chez des enfants (n = 631)	Arbres	Canopée et arbres allergéniques (500 m)	La quantité d'arbres (surtout d'arbres allergéniques) est positivement associée à une augmentation de sensibilisation et de diagnostics de rhinite allergique.
Stas <i>et al.</i> , 2021 (97)	Belgique	Transversal	Symptômes d'utilisateurs d'une application (n = 157)	Plusieurs	Espaces verts (ex. forêt, prairie, jardin) (2 km)	La sévérité des symptômes journaliers des participants est associée à plusieurs types de verdure.
Stas <i>et al.</i> , 2021 (96)	Belgique	Cas croisé	Symptômes d'utilisateurs d'une application allergiques aux arbres (n = 144)	Plusieurs	Espaces verts (100 m) : Prairie Forêt Jardin Arbres allergéniques	Les prairies et la présence de certains types d'arbre sont associées à une diminution des journées de symptômes d'allergie sévère. Une augmentation d'arbres de bouleau est associée à une augmentation de journée d'allergie sévère.

Tableau A2-11 L'association entre la présence de certains types d'espace vert et les symptômes/prévalence (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Design	Méthodes d'évaluation d'allergie (n)	Type de pollen	Environnement/Exposition	Résultats/Constats
Elholm <i>et al.</i> , 2016 (94)	Danemark	Transversal	Statut de sensibilisation aux pollens chez des hommes suivis depuis l'enfance (n = 1 236)	Arbres (bouleau) et graminées	Milieu urbain, rural et ferme	Association positive entre le degré d'urbanisation autour de la résidence et le risque d'être sensibilisé aux pollens.
Lai et Kontokosta, 2019 (95)	États-Unis/New York	Écologique	Hospitalisations pour l'asthme (n = 174)	Arbres	Densité de la canopée et présence d'arbres allergéniques	La densité de la canopée d'arbres avait une association négative avec les hospitalisations pour l'asthme, mais la présence de certains types d'arbres allergéniques avait une association positive.
Lovasi <i>et al.</i> , 2013 (93)	États-Unis/New-York	Étude de cohorte	Statut de sensibilisation aux pollens chez des enfants* (5-7 ans) (n = 549) * Enfants habitant dans des communautés à bas revenu et d'origine africaine-américaine ou dominicaine.	Plusieurs	Canopée (0,25 km)	La couverture d'arbres autour de la résidence dans la période prénatale était associée avec une plus grande prévalence de sensibilisation aux pollens d'arbres à 7 ans. Résultats non significatifs à l'âge de 5 ans ainsi que pour la rhinite allergique.

Tableau A2-11 L'association entre la présence de certains types d'espace vert et les symptômes/prévalence (suite)

Auteurs et date	Pays/Ville	Design	Méthodes d'évaluation d'allergie (n)	Type de pollen	Environnement/Exposition	Résultats/Constats
Gernes <i>et al.</i> , 2019 (91)	États-Unis/Ohio et Kentucky	Longitudinal	Statut de sensibilisation aux pollens chez des enfants (n = 478)	Plusieurs	Espaces verts avec des graminées ou des arbres (400 m)	Une augmentation de 10 % de couverture de graminées est liée à une augmentation de 20-27 % de chance d'être sensibilisé au pollen de graminées.

Tableau A2-11 Facteurs individuels liés à la sensibilisation ou à la rhinite allergique aux pollens

Auteurs	Pays	Type d'étude	Population (n)	Mesure d'allergie	Facteurs individuels	Direction de l'association
Lombardi <i>et al.</i> , 2014 (106)	Italie	Transversale	Enfants immigrants (165) et enfants italiens (237) ayant des symptômes de rhinite allergique ou d'asthme (n = 402)	Sensibilisation aux pollens (IgE sanguines)	Immigration	- (graminées et herbe à poux)
Ronmark <i>et al.</i> , 2017 (98)	Suède	Transversale	Enfants âgés de 7-8 ans dans deux municipalités (n = 1 516)	Présence de sensibilisation (test cutané)	Âge Sexe (garçon)	+ +
Inomata <i>et al.</i> , 2022 (104)	Japon	Transversale	Individus ayant téléchargé et rempli une application mobile (11 284)	Rhume des foins autorapporté	Âge Sexe (femme) Diabète Fumeur Indice de masse corporelle	- + - NS NS

Tableau A2-12 Facteurs individuels liés à la sensibilisation ou à la rhinite allergique aux pollens (suite)

Auteurs	Pays	Type d'étude	Population (n)	Mesure d'allergie	Facteurs individuels	Direction de l'association
Agnew <i>et al.</i> , 2018 (99)	Croatie	Cas contrôle	Enfants de 2-13 ans (n = 4 013)	Présence de sensibilisation à l'herbe à poux (test cutané)	Âge Sexe (fille) Milieux ruraux Parent allergique Aîné Antibiotiques	+ - - + + -
Wu <i>et al.</i> , 2021 (103)	Chine	Transversale	Enfants avec des symptômes de rhinite allergique (0-14 ans) (n = 762)	Présence de sensibilisation (test cutané)	Âge	NS
Hatzler <i>et al.</i> , 2014 (105)	Allemagne	Cohorte	Enfants nés en 1990 inclus dans une cohorte (n = 820)	Symptômes de rhinite allergique saisonnière lors de la saison du pollen (bouleau et graminée)	Sensibilisation (IgE) Parent sensibilisé Présence de fratrie	+ + NS

Tableau A2-12 Facteurs individuels liés à la sensibilisation ou à la rhinite allergique aux pollens (suite)

Auteurs	Pays	Type d'étude	Population (n)	Mesure d'allergie	Facteurs individuels	Direction de l'association
Kim <i>et al.</i> , 2013 (100)	Corée	Transversale	Enfants de 3-6 ans dans des garderies (n = 629)	Présence de sensibilisation (test cutané)	Âge	+
Dondi <i>et al.</i> , 2013 (102)	Italie	Transversale	Enfants référés à un spécialiste pour des allergies (4-18 ans) (1 360)	Présence de sensibilisation (test cutané) et symptômes	Présence de frère ou sœur aînée Âge de début d'allergie Parent fumeurs	+ + (sévérité) + (père)/NS (mère)
Lynch <i>et al.</i> , 2016 (108)	Nouvelle- Zélande	Transversale	Cohorte d'enfants nés entre 1972 et 1973 (n = 1 037)	Présence de sensibilisation (test cutané)	Pouce dans la bouche Rongage d'ongle	NS NS

Tableau A2-12 Facteurs individuels liés à la sensibilisation ou à la rhinite allergique aux pollens (suite)

Auteurs	Pays	Type d'étude	Population (n)	Mesure d'allergie	Facteurs individuels	Direction de l'association
Yamazaki <i>et al.</i> , 2015 (101)	Japon	Transversale	Enfants âgés de 6-9 ans (n = 8 815)	Présence de sensibilisation (IgE sanguines) (cèdre du Japon)	Sexe mâle Âge Parent allergique Mère fumeuse Nourri au biberon Animaux de compagnie Aîné	+ + + - - - +
Upperman <i>et al.</i> , 2016 (61)	États-Unis	Transversale	Adultes ayant répondu à l'enquête du National Health Interview Survey (NHIS) de 1997 à 2013 (n = 505 386)	Diagnostic du rhume des foins dans les derniers 12 mois	Femmes Âge Éducation Revenu	+ + + +
Min et Min, 2018 (107)	États-Unis	Transversale	Participant ayant répondu au questionnaire et ayant participé à l'enquête de 2005-2006 NHANES (n = 2 671)	Sensibilisation au pollen (IgE sanguines)	Cannabis (personne ayant consommé dans les derniers 30 jours)	+

Centre d'expertise et
de référence en santé publique

www.inspq.qc.ca

**Institut national
de santé publique**

Québec

