
Scoping Review : L'impact délétère de la pollution atmosphérique sur la cognition et le cerveau peut-il être atténué par la réserve cognitive ?

Auteur : van der Meulen, Simon

Promoteur(s) : Bastin, Christine

Faculté : Faculté de Psychologie, Logopédie et Sciences de l'Éducation

Diplôme : Master en sciences psychologiques, à finalité spécialisée en neuroscience cognitive et comportement

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/22078>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Mémoire

Scoping Review : L'impact délétère de la pollution
atmosphérique sur la cognition et le cerveau peut-il être
atténué par la réserve cognitive ?

YMEM0005-1 Mémoire, partim 2 en neuroscience cognitive et
comportementale

Présenté par :

Simon van der Meulen / S172419

Promotrice :

Christine BASTIN

Lecteurs :

Fabienne COLLETTE

David STAWARCZYK

Année académique 2023-2024

Remerciements

Permettez-moi de débiter ce mémoire en exprimant ma gratitude à toutes les personnes qui ont joué un rôle dans ce parcours académique. Leurs contributions, grandes et petites, ont tissé les fils qui ont donné vie à ces pages. Ces remerciements ne sont pas de simples mots, mais l'expression sincère de ma reconnaissance pour le soutien humain qui a nourri ce projet.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers Madame Bastin, ma promotrice, pour son soutien inestimable tout au long de mes différents projets. Sa disponibilité, son écoute attentive, et ses conseils avisés ont été d'une aide précieuse. Ses paroles motivantes et les opportunités qu'elle m'a offertes ont été des catalyseurs essentiels dans la réussite de mes projets. Je lui suis reconnaissant d'avoir su faire face à mes incertitudes avec patience et bienveillance. Sans vous, je n'en serais pas là aujourd'hui et le projet non plus. Du plus profond de mon être, merci.

Mes remerciements s'adressent également à Madame Collette et Monsieur Stawarczyk, lecteurs et membres du jury, pour leurs retours et conseils autour de ce projet.

Je remercie tous les professeurs amoureux de leurs métiers, de la science et de la recherche qui m'ont donné goût à ce domaine. En particulier, Monsieur Adams, Monsieur Dardenne et Monsieur Boxho pour leur dévouement et leur excellence pédagogique qui ont grandement contribué à mon amour pour les études de psychologie. Bien que nos interactions aient été indirectes, vous avez joué un rôle significatif dans mon parcours universitaire en m'offrant une perspective éclairée sur la nature enrichissante des cours et du cursus universitaire.

Je tiens également à exprimer ma gratitude toute particulière envers Monsieur Tirreli pour ses enseignements durant mes années de Master. Son engagement à m'initier au domaine scientifique a été une source d'inspiration majeure, m'incitant à élargir mes horizons et à approfondir ma compréhension du système scientifique. Grâce à ses conseils éclairés et à son exemple, j'ai pu définir de nouveaux objectifs et envisager de nouvelles perspectives pour mon parcours professionnel. Sa carrière et son attitude réflexive sont une source d'inspiration constante et un modèle.

Et pour finir, j'aimerais tout particulièrement remercier Eléa pour ses précieuses relectures ainsi que Marine pour ses conseils, ses réflexions et sa pertinence tout au long du projet.

Table des matières

1.	Introduction générale	5
2.	Introduction théorique	6
2.1	Réserve cognitive / Réserve cérébrale.....	6
2.1.1	Qu'est-ce que la réserve ?.....	6
2.1.1.1	Définition	6
2.1.1.2	Les différentes hypothèses	7
2.1.2	Quels sont les facteurs influençant la réserve cognitive ?.....	10
2.1.3	Comment est-elle évaluée ?.....	13
2.2	Pollution atmosphérique.....	14
2.2.1	Qu'est-ce que la pollution atmosphérique ?.....	14
2.2.2	Quels sont les différents polluants ?.....	14
2.2.3	Comment est évaluée la pollution atmosphérique ?.....	15
2.2.4	Quels mécanismes permettent à la pollution d'impacter notre cerveau ?	16
2.2.5	Quel est l'impact de la pollution atmosphérique sur la cognition et le cerveau ?.....	17
2.3	Objectifs	18
3.	Méthodologie	18
3.1	Critères d'éligibilité.....	18
3.2	Bases de données.....	19
3.3	Stratégies de recherche.....	20
3.4	Sélection des articles.....	23
3.5	Processus d'extraction des données	24
4.	Résultats	24
4.1	Sélection des études	24
4.2	Caractéristiques des études sélectionnées	25
4.3	Résultats des études sélectionnées	25
4.3.1	Enfants et adolescent.....	27
4.3.1.1	Cognition générale.....	27
4.3.1.2	Intelligence, QI et raisonnement	27
4.3.1.3	Attention, mémoire de travail et fonction exécutive	29
4.3.1.4	Mémoire.....	31
4.3.1.5	Vitesse de traitement et temps de réaction	32

4.3.1.6	Mesures cérébrales.....	32
4.3.2	De jeunes adultes à 40 ans.....	33
4.3.2.1	Cognition générale.....	33
4.3.2.2	Attention, mémoire de travail et fonction exécutive	33
4.3.2.3	Mémoire.....	36
4.3.2.4	Vitesse de traitement et temps de réaction	37
4.3.3	Adultes d'âge moyen à âgés.....	38
4.3.3.1	Cognition générale.....	38
4.3.3.2	Attention, mémoire de travail et fonction exécutive	41
4.3.3.3	Mémoire.....	42
4.3.3.4	Vitesse de traitement et temps de réaction	44
4.3.3.5	Mesures cérébrales.....	44
5.	Discussion	45
5.1	Rappel des objectifs et de la méthodologie.....	45
5.2	Interprétation des résultats principaux.....	46
5.2.1	L'éducation	46
5.2.2	L'activité physique.....	47
5.2.3	Les activités sociales.....	48
5.2.4	Les loisirs	49
5.2.5	De jeunes adultes à 40 ans.....	50
5.3	Implications futures.....	50
5.4	Limites	51
6.	Conclusion	53
7.	Bibliographie.....	54
8.	Annexe	72
	Annexe 1.....	72
	Annexe 2.....	75
	Annexe 3.....	78
	Annexe 4.....	94

1. Introduction générale

La problématique liée à l'augmentation des températures et du climat de façon plus générale, est l'un des sujets les plus importants du 21^e siècle. Les polluants et le climat sont liés, et ont des impacts directs et indirects sur la santé, avec des répercussions sur les voies respiratoires, le système digestif ou les voies cutanée (Orru et al., 2017). Diverses études ont montré que certains polluants pouvaient avoir un impact sur nos fonctions cognitives, sur le déclin cognitif, sur les troubles cognitifs légers, sur les démences, sur les hospitalisations, sur certains biomarqueurs ou encore des atrophies sur différentes parties du cerveau (Delgado-Saborit et al., 2021).

De plus, le déclin cognitif lié à l'âge est une problématique qui nous touche tous et qui a trait à la santé publique mondiale. Il semblerait même que le nombre de cas de démences devrait augmenter durant les prochaines décennies (Zare Sakhvidi et al., 2022). On estime à 40 % les facteurs de risques sur lesquels nous pouvons avoir un impact afin de retarder le déclin cognitif. Dans le pourcentage de personne atteinte de démence, 2 % sont explicables par les polluants atmosphériques, soit autant que l'hypertension ou l'activité physique (Livingston et al., 2017).

Le but de ce mémoire théorique est d'explorer la littérature concernant l'impact de la pollution atmosphérique sur le déclin cognitif au cours de la vie. Ensuite, il s'agira de regrouper les articles trouvés afin de comparer les différents résultats et voir s'il y a des moments clés où la cognition serait plus impactée par la pollution atmosphérique.

Pour ce faire, nous allons dans un premier temps aborder la littérature en expliquant les thèmes de la cognition dans le temps, la notion de réserve et en finissant par la pollution atmosphérique. De cette analyse ressortira la question de recherche que nous allons analyser grâce à la méthodologie mise en place ainsi que les résultats obtenus. Nous finirons par la discussion afin de faire le point sur ce qui est ressorti de cette analyse, explorer les pistes et potentiels projets futurs intéressants ainsi que les potentielles limites de ce domaine de recherche.

2. Introduction théorique

2.1 Réserve cognitive / Réserve cérébrale

2.1.1 Qu'est-ce que la réserve ?

2.1.1.1 Définition

Lors du vieillissement, aussi bien normal que pathologique, diverses études montrent qu'il y a une forte variabilité à travers les individus. Dans un groupe de personnes âgées ayant des troubles neuro-pathologiques, certains participants ne montraient aucun symptôme cliniquement observable (Mortimer et al., 2003). Dans une autre étude, un quart des individus issus de cohortes, ne présentaient aucun signe clinique de la maladie d'Alzheimer de leur vivant et répondaient pourtant aux critères pathologiques (Robert-Bobee, s. d.). Ces différences ont fait l'objet de différentes recherches et ont permis à Stern d'établir la notion de « réserve » (Stern, 2002; Stern et al., 2020).

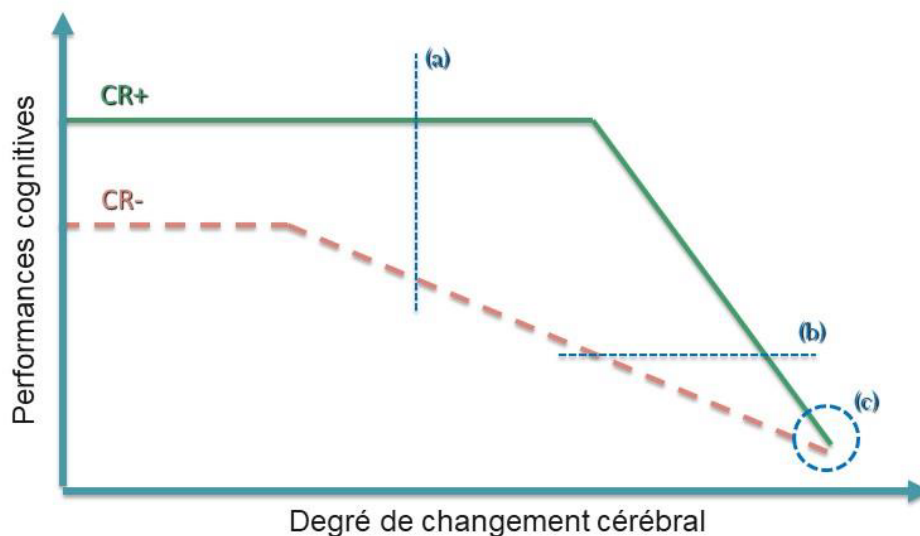


Figure 1. Illustration graphique du concept de réserve cognitive (inspiré de Stern, 2009 ; Bastin, 2023).

La réserve renvoie à la résistance des personnes à des changements cérébraux. Stern définit deux notions de réserves différentes. La première est la réserve cérébrale qui est une notion plus anatomiquement quantitative du cerveau, et la seconde est la réserve cognitive qui est une approche d'un point de vue performance du cerveau. Ces deux termes sont explicités plus en détails ci-après. La *figure 1* permet de mieux comprendre la différence entre deux personnes ayant la même source de déficit, mais dont la qualité de réserve diffère.

La *figure 1* montre que les deux personnes commencent avec des niveaux de performances cognitives différents (plus bas pour celui avec une mauvaise réserve cognitive) et ces deux personnes atteignent également au même moment critique, le même niveau du degré de changement cérébral. Cependant, la courbe n'est pas similaire. Et cette différence est établie par 3 caractéristiques.

Le point (a) montre que pour un même déficit, la personne avec une moins bonne réserve va avoir un déclin cognitif plus précoce alors que la personne avec une réserve cognitive plus élevée va garder une bonne cognition plus longtemps. De plus, le déclin cognitif apparaîtra plus tardivement.

Le point (b) montre que pour un même niveau de performance cognitive, la personne ayant une bonne réserve aura un degré de changement cérébral plus avancé.

Le point (c) montre que, à un point trop avancé de changement cérébral, les deux états de réserve cognitives se rejoignent. La compensation présente pour la personne ayant une bonne réserve ne suffit plus.

2.1.1.2 Les différentes hypothèses

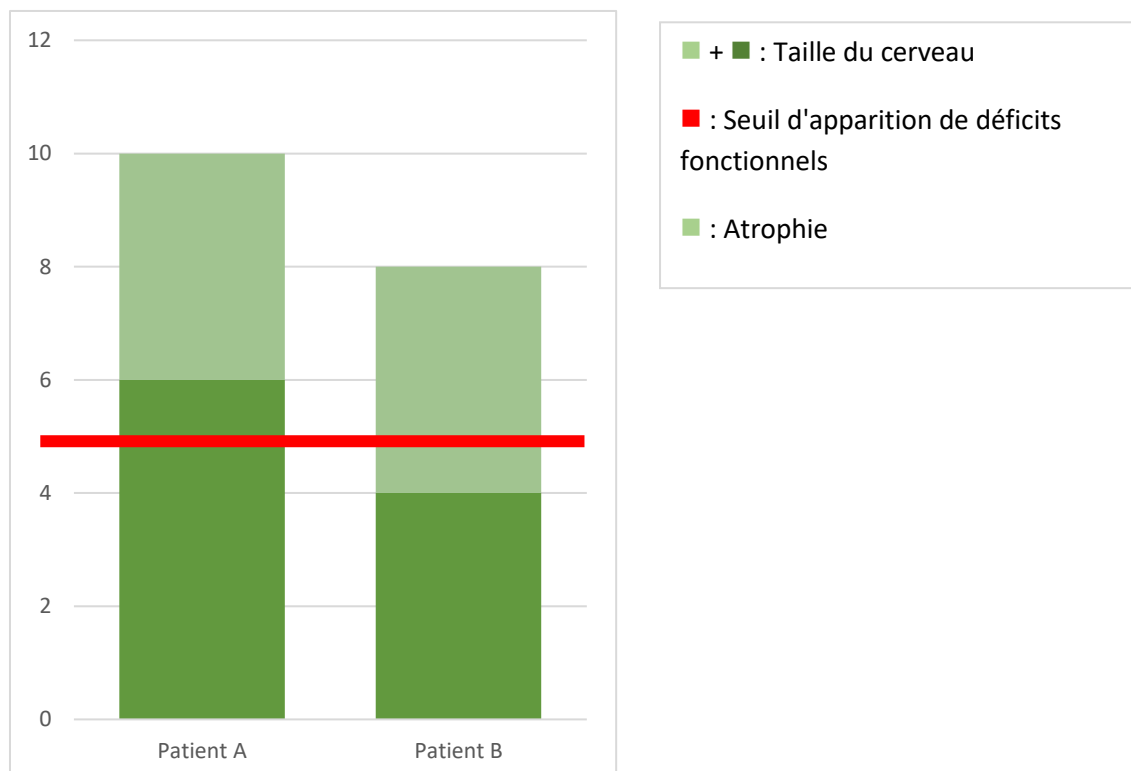
La littérature actuelle fait état des deux hypothèses lorsque l'on parle de réserve cognitive. Elles décrivent comment le cerveau peut réagir aux modifications qui le touchent. Stern sépare la réserve cérébrale qui va faire référence à l'hypothèse passive, de la réserve cognitive qui se réfère à l'hypothèse active (Stern, 2009; Stern et al., 2020). Ces deux hypothèses ne s'excluent pas mutuellement, il est probable qu'une combinaison des deux expliquent le fonctionnement de la réserve. (Bastin, cours de neuropsychologie du vieillissement)

L'hypothèse passive

La réserve cérébrale est généralement vue comme l'anatomie neurobiologique du cerveau. Elle fait référence au nombre de neurones et synapses qui composent le cerveau ou encore au volume cérébral. Une structure cérébrale plus fournie permettrait à certaines personnes une meilleure capacité à faire face au déclin cognitif et aux troubles de la santé cérébrale avant que des changements cliniques ou cognitifs ne se manifestent. Les déficits cognitifs ou fonctionnels ne se manifestent que lorsque qu'un seuil déterminé est franchi, et ceux qui possèdent une réserve cérébrale plus importante ont donc plus à perdre avant de subir ces problèmes. Cette réserve peut ainsi être considérée comme passive car elle ne nécessite pas d'adaptation active des processus cognitifs ou fonctionnels en réponse à une agression (Stern et al., 2020).

A partir de ce point, une explication sera donnée en image pour les différents concepts (Scarmeas & Stern, 2003; Stern, 2002, 2003). Les chiffres utilisés sont purement hypothétiques et ne correspondent à rien de concret et on seul but d'imager les propos.

Partons du cas où nous sommes en présence de deux patients présentant des capacités de réserve cérébrale distinctes (*Figure 2*). Le patient A exhibe une réserve cérébrale évaluée à 10, tandis que le patient B présente une réserve cérébrale évaluée à 8. Ces deux patients sont tous deux confrontés à une lésion cérébrale de magnitude égale, évaluée à 4 unités. Un seuil critique est présupposé par le modèle, symbolisé par la ligne rouge, qui correspond au niveau à partir duquel des déficits fonctionnels deviennent manifestes. Ce seuil est supposé être relativement constant parmi les individus et est fixé à 5 unités. En d'autres termes, en deçà de ce seuil, les patients développent des déficits fonctionnels, tandis qu'au-delà, ces déficits ne sont pas observés. Dans notre exemple, le patient A, bénéficiant d'une réserve cérébrale plus substantielle, est en mesure de tolérer davantage de dommages cérébraux avant d'atteindre ce seuil critique, retardant ainsi l'apparition de dysfonctionnements cognitifs. En revanche, le patient B, dont la réserve cérébrale est moins importante, dépasse ce seuil plus rapidement et présente des manifestations de dysfonctionnement cognitif suite à des dommages cérébraux équivalents (Bastin, 2023).



L'hypothèse active

La réserve cognitive est plutôt liée à la capacité d'adaptation du cerveau face aux changements, à l'âge ou aux pertes, expliquant pourquoi certaines personnes sont moins touchées par le vieillissement, les problèmes de santé ou les lésions cérébrales que d'autres. Le modèle représente une forme active de réserve, où les processus cognitifs et cérébraux adaptatifs permettent de faire face aux changements ou aux lésions cérébrales de façon dynamique. Ces processus peuvent être préexistants ou s'adapter pour maintenir la fonction lorsque des altérations cérébrales surviennent (Stern et al., 2020).

Partons du cas où les patients A et B présentent des cerveaux anatomiquement identiques mais des capacités de réserve cognitives distinctes. Le patient A, bénéficiant d'une réserve cognitive supérieure, conserve ses activités et son mode de vie optimal plus longtemps malgré une atteinte cérébrale plus avancée. Ceci est largement attribuable à une utilisation plus efficace des réseaux neuronaux. En revanche, le patient B, avec une réserve cognitive moindre, sera confronté plus précocement au déclin cognitif, entraînant une diminution de son fonctionnement quotidien. Rappelons que les chiffres utilisés sont purement hypothétiques et ne correspondent à rien de concret et ont pour seul but d'imagé les propos (Bastin, 2023).

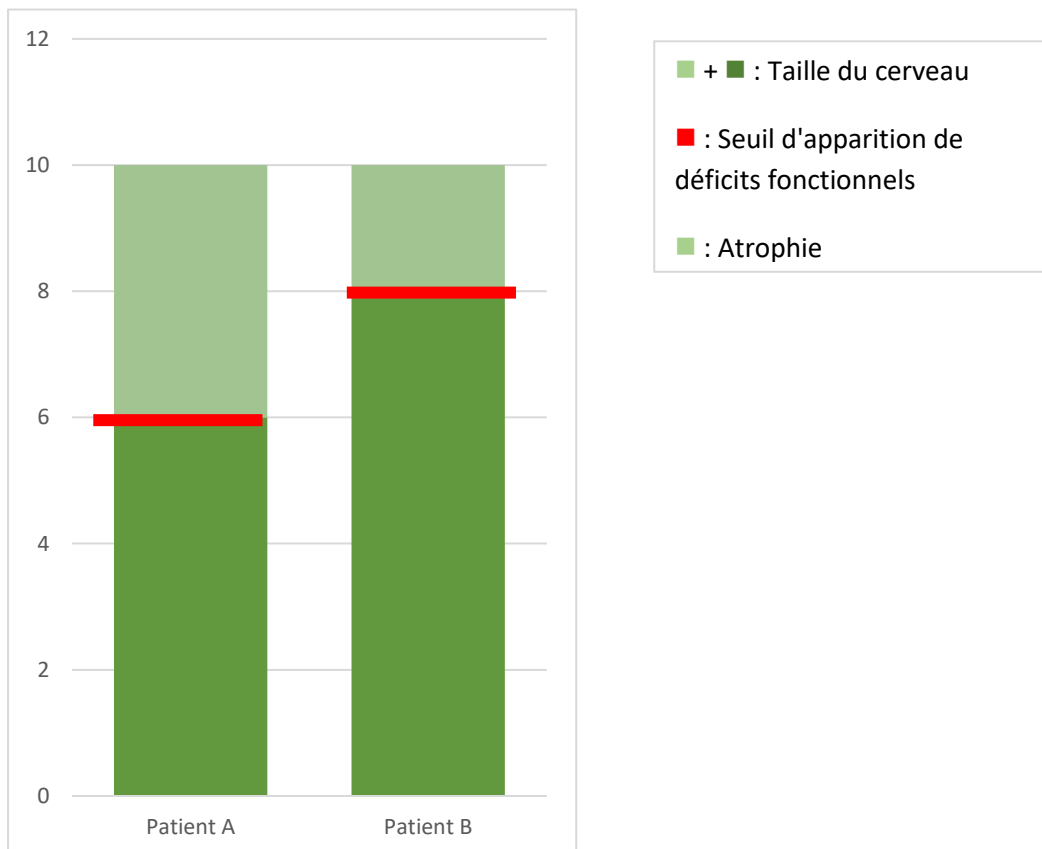


Figure 3. Représentation graphique du modèle actif de la réserve cognitive (Inspirée de Stern, 2002)

2.1.2 Quels sont les facteurs influençant la réserve cognitive ?

La réserve cognitive se repose sur des processus cérébraux qui sont influencés par des différences individuelles innées et des expériences de vie. C'est ce qui fait que la réserve cognitive est flexible et en fait un processus pour lequel il y a possibilité d'amélioration. Les expériences de vie incluent l'éducation, le domaine professionnel, l'exercice physique, les loisirs et les interactions sociales (Stern et al., 2020).

Education

L'éducation est depuis plus d'une vingtaine d'année identifiée comme l'un des piliers de la réserve cognitive, jouant un rôle crucial dans la modulation des capacités cognitives tout au long de la vie. L'association entre un moindre risque de démence et un niveau d'éducation plus élevé corrobore ce point de vue (Meng & D'Arcy, 2012). D'autres études indiquent que cette association est expliquée par l'association entre l'éducation évaluée et le niveau de fonction cognitive (Van Dijk et al., 2008; Wilson et al., 2019). Une étude plus récente portant sur une cohorte de 2 899 participants âgés montre que chez tous les participants, l'éducation était associée au niveau de cognition globale mais pas au taux de changement. Certains chercheurs avancent donc que l'éducation contribue surtout à l'association avec le niveau de fonction cognitive (Wilson et al., 2019).

Il est donc assez difficile de faire ressortir un consensus entre les différentes études et les théories différents en bien des points. Une des facettes de cette divergence serait la façon dont est évalué ce facteur. En effet, certaines études étudient l'éducation à travers le nombre d'années d'études réussies (Mitchell et al., 2012; Montemurro et al., 2023; Yasuno et al., 2020), alors que d'autres utilisent des catégories pour classer le niveau d'éducation (León et al., 2014; Suemoto et al., 2022; Yasuno et al., 2020). Il semble que de façon générale, l'effet bénéfique de l'éducation sur la réserve cognitive augmente avec le nombre d'années d'études accomplies. Le niveau d'éducation pourrait ainsi réduire le risque de pathologies ou retarder leurs apparitions, tout en favorisant le développement cognitif (Richards & Deary, 2005).

Domaine professionnel

Stern considère le domaine professionnel comme ayant un impact sur le déclin cognitif. Il avance d'abord un effet protecteur contre le déclin cognitif lors du vieillissement venant du niveau professionnel (Stern et al., 1994). Dans cette recherche sur le domaine professionnel, en 1995, il y a deux composantes professionnelles qui semblent influencer la réserve cognitive.

Dans un premier temps, il y a l'engagement physique requis par la profession et deuxièmement, l'importance des interactions interpersonnelles (Stern et al., 1995a, 1995b). En 2020, Stern et al. ont réaffirmé cette perspective, en partie soutenue par une méta-analyse démontrant une corrélation positive entre le statut professionnel et la fonction cognitive chez les personnes âgées (Opdebeeck et al., 2016). De plus, une étude ultérieure a mis en évidence une association positive entre un statut professionnel plus élevé et un déclin cognitif plus lent, indiqué par les scores aux échelles MMSE et MoCA (Kujawski et al., 2021)

Plus récemment, une étude portant sur 1023 participants avance que la complexité et les exigences de la profession n'étaient pas liées à de meilleures capacités cognitives. La complexité a été mise sur trois niveaux : qualifiée (exemples : médecin, ingénieur), semi-qualifiée (exemples : commerçant, chauffeur) et non qualifiée (exemples : travailleur agricole, femme de ménage). Tandis que les exigences ont été divisé en 4 catégories : le langage, la flexibilité cognitive, le raisonnement et l'orientation perceptive et spatiale. Une mesure globale de la cognition a également été utilisée (Suemoto et al., 2022). D'autres ont mis en avant que les spécialisations professionnelles plus élevées des participants à leur étude ne pouvaient statistiquement pas être considérées comme ayant un effet protecteur contre la maladie d'Alzheimer (Yasuno et al., 2020).

Une divergence de perspectives pourrait découler de la manière dont les chercheurs ont défini les critères professionnels. Certaines études préfèrent prendre la profession exercée pendant la plus grande partie de la carrière, tandis que d'autres préfèrent utiliser la dernière profession en date.

Exercice physique

Dans la recherche liée à la réserve, il s'avérerait que l'exercice physique, plus particulièrement les exercices impliquant l'aérobie, serait plutôt lié au soutien de l'intégrité structurelle des neurones, et à la préservation de la masse cérébrale (Cheng, 2016).

L'étude de Buchman et al. (2019) réalisée post-mortem et évaluant l'activité physique de façon objective avance que de meilleures compétences motrices et de plus hauts niveaux d'activité quotidienne étaient indépendamment associés à une meilleure cognition. Toutefois, une autre étude post mortem, évaluant l'activité physique de façon subjective, n'a pas trouvé de lien entre la réserve cognitive et l'exercice physique (T. Yao et al., 2020).

Dans le prolongement des études subjectives, Casaletto a mené deux études sur le sujet. Une première étude a été réalisée sur des personnes âgées venant de deux cohortes distinctes. D'un point de vue cérébral, une corrélation positive a été trouvée entre l'activité physique et le volume de matière grise pour seulement une des deux cohortes. Néanmoins, sur le plan cognitif, l'activité physique n'était pas en lien avec une meilleure cognition, et ce, dans les deux cohortes (Casaletto, Rentería, et al., 2020). Dans sa deuxième étude, les sujets étaient des participants ayant une dégénération fronto-temporale. Les résultats ont montré que le fait d'avoir plus d'activités physiques était associé à une gravité clinique plus faible et une diminution du déclin cognitif dans le temps, mais que ce n'était pas associé avec les volumes fronto-temporaux (Casaletto, Staffaroni, et al., 2020).

Cependant, il convient de modérer ces propos concernant les études évaluant l'exercice physique de façon subjective. Une étude avance que dans ce domaine, et plus particulièrement chez les personnes âgées, les mesures auto-rapportées sont fréquemment biaisées (Sallis & Saelens, 2000).

Loisirs

Bien que l'exercice physique soit un loisir, nous aborderons plutôt les loisirs associables aux domaines intellectuels ou cognitifs.

Afin de mesurer cette expérience de vie, des questionnaires ont été distribués, reprenant les loisirs auxquels les participants s'adonnaient sur le moment et durant leur vie, ainsi que la fréquence de celle-ci. De ce mode de prise de données, il est ressorti que chez des personnes âgées saines, le fait de prendre part à des loisirs exerce une influence significative modératrice entre la capsule externe et les performances cognitives. Néanmoins, ils n'ont pas significativement influencé la relation entre les hyperintensités de la substance blanche et la cognition (Casaletto, Rentería, et al., 2020). Chez des personnes atteintes de dégénération fronto-temporale, une influence significative des loisirs réside entre le volume fronto-temporal et le fonctionnement exécutif, la mémoire épisodique et la cognition de façon générale. Cependant, ils n'ont pas influencé significativement la relation entre le volume fronto-temporal et l'atrophie cérébrale et la vitesse de traitement (Casaletto, Staffaroni, et al., 2020).

Interactions sociales

Le dernier point abordé concerne les interactions sociales. En effet, plusieurs études ont été réalisées afin d'explorer leur rôle pour la cognition.

Lors d'une étude longitudinale réalisée sur 6 677 personnes, les analyses ont montré que le risque de démence était corrélé positivement avec la solitude et négativement avec le fait d'être marié ou le nombre de relations proches du participant (Rafnsson et al., 2020). Une autre étude soutient cette vision. Les résultats suggèrent que la réserve cognitive est associée à l'isolement social, de façon négative. Il semblerait donc que chez les personnes âgées, une vie sociale plus active pourrait renforcer la réserve cognitive et améliorer la cognition (Evans et al., 2018).

Il apparaît qu'il pourrait y avoir une différence entre les sexes pour les interactions sociales. En effet, une étude menée au Japon avance que chez les hommes, le soutien social de la famille proche offre une protection contre la démence. Une des hypothèses est que les hommes, de façon générale, reçoivent plus de soutien au quotidien, ce qui retarde le besoin d'aller consulter un spécialiste. Les résultats ne sont cependant pas significatifs chez les femmes (Murata et al., 2019). Une autre étude avance qu'entre les hommes et les femmes, c'est la nature des interactions qui change. Les hommes accorderaient plus d'importance aux liens familiaux tandis que pour les femmes, les relations amicales seraient les plus bénéfiques. Cependant, chez les deux sexes, des contacts visuels plus fréquents viendraient diminuer les probabilités de déclin cognitif (Zunzunegui et al., 2003).

2.1.3 Comment est-elle évaluée ?

Ces différents marqueurs ayant plus ou moins prouvé leurs liens avec la réserve cognitive, ils ont pu être utilisés comme proxy dans diverses études (Song et al., 2022). Afin d'avoir un outil permettant de reprendre tous ces proxys, des chercheurs se sont penchés sur la création de celui-ci. Notamment via le Cognitive Reserve Index questionnaire, qui permet d'évaluer la réserve cognitive de 18 à 102 en reprenant les proxys d'éducation, du domaine professionnel et des loisirs (Nucci et al., 2012). Plus récemment, une adaptation plus courte ayant pour but, l'évaluation en ligne a été créée (Mondini et al., 2023).

Une autre façon de faire est via les résidus, qui représentent la partie de la cognition qui n'est pas expliquée par les facteurs démographiques ou par les indicateurs de santé cérébrale. Cette façon de faire est vendue comme plus informative individuellement et également plus dynamique. Cependant, ce mode de mesure présente un risque élevé d'inclure d'autres fonctions que la réserve cognitive (Stern et al., 2020). De cette approche sont apparues plusieurs méthodes, notamment en comparant la cognition que l'on peut attendre selon un état de santé cérébrale donné et la cognition réellement observée (Anatürk et al., 2021; T. Yao et al., 2020).

2.2 Pollution atmosphérique

Un facteur qui influencera la réserve cognitive et la cognition est la pollution atmosphérique. Dans le monde dans lequel nous vivons, le « vert » prend de plus en plus d'importance, la surconsommation mène à plus de pollution et il est donc primordial d'en étudier les effets.

2.2.1 Qu'est-ce que la pollution atmosphérique ?

En Europe, la qualité de l'air est le risque environnemental le plus important en 2023. Il est d'autant plus tracassant que toute la population est concernée (AEE, 2024). Il est maintenant communément admis que la pollution atmosphérique contribue à l'augmentation des températures et au changement climatique dans le monde. Cependant, elle a aussi des impacts directs et indirects sur la santé, avec des répercussions sur les voies respiratoires, le système digestif ou les voies cutanée (Orru et al., 2017). Diverses études ont montré que certains polluants pouvaient avoir un impact sur nos fonctions cognitives, sur le déclin cognitif, sur les troubles cognitifs légers, sur les hospitalisations, sur certains *biomarkers* ou encore des atrophies sur différentes parties du cerveau (Delgado-Saborit et al., 2021). De plus, plusieurs revues systématiques ont révélé les effets néfastes sur la cognition, ainsi que la progression attendue des cas de démence dans les années à venir, ce qui constitue l'une des préoccupations majeures de notre époque (Delgado-Saborit et al., 2021, Weuve et al., 2021)

2.2.2 Quels sont les différents polluants ?

L'agence européenne pour l'environnement (AEE, 2024) identifie les principaux polluants pouvant être dangereux et ayant un impact sur la qualité de l'air. Parmi ceux-ci figurent les particules atmosphériques, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, l'ozone, le benzène, les composés organiques volatils et les métaux lourds. La surveillance de ces polluants est essentielle pour évaluer leur impact sur la faune, la flore et l'être humain. C'est ainsi que des mesures pourront être prises pour réduire leur présence.

Les PM10, sont des microparticules présentes en suspension dans l'air dont le diamètre est inférieur à 10 µm. Elles proviennent principalement de diverses sources anthropiques telles que le chauffage domestique, les activités industrielles et agricoles et le transport routier. Cependant, leur présence provient aussi de sources naturelles : venant du sel marin, de la poussière du Sahara ou encore des volcans. De plus, certaines particules appelées PM secondaires se forment suite à la réaction de différents composés gazeux.

Les PM 2.5 désignent les microparticules ayant un diamètre de 2.5 µm ou moins et qui sont en suspension dans l'air. L'émission principale de ces particules provient du chauffage domestique, des activités industrielles, du transport routier mais peut également provenir de sources naturelles. Parmi ces particules, l'un des plus étudiées est le noir de Carbon (BC), principalement libéré lors de la combustion de diesel, de bois et/ou de carburants. Ainsi qu'à cause des transports, de la production industrielle et de l'agriculture.

L'ozone (O₃) est principalement le résultat d'une réaction chimique entre les composés organiques volatils (COV : solvants, hydrocarbures, ...), les oxydes d'azote (NO_x) ou encore le méthane, qui a lieu lors de l'action du rayonnement solaire. En raison du rôle joué par le soleil, les pics d'ozone se produisent principalement en été. Un fort rayonnement solaire et des températures élevées augmentent la concentration d'ozone dans l'air ambiant.

L'ozone est présent naturellement dans l'atmosphère. L'impact météorologique va donc jouer un rôle assez important dans les taux, la dispersion et les variations interannuelles de ce polluant (<https://www.ineris.fr/fr/risques/dossiers-thematiques/pollution-atmospherique-ozone-decryptage/est-ozone>, consulté le 26 mai, 2022).

Le dernier polluant atmosphérique est le dioxyde d'azote (NO₂) étant lui-même impliqué dans la création de l'ozone. Il provient principalement du transport routier, de la combustion industrielle et l'approvisionnement énergétique. Les zones fortement touchées sont généralement les grandes villes, où la densité de population et de véhicules est élevée, ce qui accroît son impact sur la santé humaine.

2.2.3 Comment est évaluée la pollution atmosphérique ?

L'évaluation des niveaux de pollutions atmosphérique va généralement s'effectuer via une prise des adresses de résidences, suivi d'un relevé des données de pollution atmosphérique pour l'endroit donné. D'un pays à l'autre, les capteurs prélevant ces informations se trouvent à des endroits variés. Ainsi, chaque recherche sur le domaine va s'adapter à ses contraintes de localisation afin d'établir ce qui se rapproche le plus du taux de pollution absorbés par les participants de l'étude. Récemment, une étude française a utilisé un modèle de régression de l'utilisation du sol à haute résolution spatiale permettant une précision de zone de 100 x 100 m (Zare Sakhvidi et al., 2022). En Inde, la précision des zones s'élargissait plus via des sous-district de quartier, représentant environ une zone de 515 km² (Jalaludin et al., 2022). Une autre

étude a plutôt utilisé une pondération de la population autour d'un périmètre de 20 km par rapport au point de récolte des données de pollution (Ilango et al., 2021).

Afin d'évaluer les taux de polluants dans certaines zones, les méthodes sont également différentes, l'évaluation peut être réalisée via une base de données regroupant les données entre 2000 et 2010 et améliorée via des algorithmes d'apprentissage automatique combinés à des modèles de sommation généralisés dont les résultats sont suivis et démontrés comme justes (Xu et al., 2022). Afin d'évaluer les taux de pollutions atmosphérique à des périodes où il n'y avait pas de capteurs, des modèles reprenant des covariables géographiques ont été utilisés dans le but de faire des estimations les plus précises possible. On retrouve notamment la catégorie de population, l'utilisation des terres, des indices de végétation, la densité routière, l'altitude ou encore des estimations dérivées de satellites (X. Wang et al., 2021; Zare Sakhvidi et al., 2022).

2.2.4 Quels mécanismes permettent à la pollution d'impacter notre cerveau ?

Tous ces effets sont bien présents mais comment la pollution atmosphérique peut-elle atteindre notre cerveau ?

A leur entrée dans notre système, une part majoritaire des particules polluantes seront piégées dans le mucus présents dans les voies respiratoires. La partie restante continuera son chemin, et, en fonction de leur taille et de leur capacité à s'agréger, elles se retrouveront plus ou moins profondément dans le système respiratoire (à travers les voies neuronales olfactives et sensorielles) ou digestif (à travers la barrières épithéliales). C'est alors que peut se créer une réponse inflammatoire systémique. Une fois les particules dans le sang, elles peuvent traverser la barrière hémato-encéphalique et atteindre le cerveau (Block et al., 2012; Block & Calderón-Garcidueñas, 2009; Genc et al., 2012).

Une autre piste explorée concernerait la voie nasale. Lors de l'inspiration, un transfert aurait lieu via le nerf olfactif jusqu'au bulbe olfactif. De là, un impact sur d'autres régions cérébrales pourrait être observé (Fagundes et al., 2015; Genc et al., 2012; Heusinkveld et al., 2016; Oberdörster et al., 2004).

Les polluants atmosphérique seraient susceptibles d'induire un stress oxydatif, une neuro-inflammation ou encore de l'agrégation de protéines qui impacteraient le système nerveux central et pourraient conduire à la mort des neurones (Block & Calderón-Garcidueñas, 2009; Calderón-Garcidueñas & Torres-Jardón, 2015; Fagundes et al., 2015; Genc et al., 2012). De plus, une recherche menée sur des rats exposés à des microparticules suggère que le chemin

que prend le stress oxydatif accélérerait l'impact de la pollution atmosphérique et qu'il y aurait une incidence prédominante sur le cervelet et l'hippocampe (Fagundes et al., 2015). Par ailleurs, une étude menée au Mexique auprès d'enfants a montré un impact inflammatoire cérébral causé par l'absorption respiratoire de polluants atmosphériques (Calderón-Garcidueñas et al., 2012).

2.2.5 Quel est l'impact de la pollution atmosphérique sur la cognition et le cerveau ?

Il était initialement prévu de faire un point sur le développement de la cognition "normale", cependant, la réflexion a mené au fait que toutes les études cognitives incluaient des participants avec des niveaux de pollutions différents n'étant pas mesurés. Cette variabilité non contrôlée rend difficile l'établissement d'une référence claire de la cognition "normale", car l'impact de la pollution, bien qu'indirectement présent, n'était pas systématiquement pris en compte ou isolé dans ces études.

Il ressort globalement des revues de littérature que la pollution atmosphérique joue bien un rôle négatif sur la cognition, aussi bien de façon générale que dans des domaines plus particuliers tels que les fonctions exécutives, l'attention, la mémoire, le langage, les troubles cognitifs légers et les habilités visuomotrices. Cependant, étant donné que les différents polluants agissent par des voies différentes, il reste important de séparer les résultats en fonction des polluants analysés (Clifford et al., 2016; Delgado-Saborit et al., 2021; Thompson et al., 2023).

Sur une population d'adultes de + de 40 ans, le NO₂ était associé à des scores plus faibles dans les tests cognitifs généraux, et les PM_{2.5} étaient liés à une cognition générale, une fluence verbale et un fonctionnement exécutif plus faibles. Cependant, l'ozone n'était pas associé à une cognition globale plus faible. Sur une population d'enfants, on retrouve une association entre les PM_{2.5}, les PM₁₀ et les NO_x et des fonctions exécutives diminuées. Tous ces résultats sont cependant à modérer car aucune association n'a été évaluée comme ayant une haute certitude, et la plupart des résultats positifs sont considérés comme ayant une certitude faible à très faible (Thompson et al., 2023).

Une revue de littérature écrite par Clifford et al. (2016) avance qu'une exposition in-utero à la pollution atmosphérique était associée, entre 3 et 5 ans, au développement neurologique et à l'intelligence. Chez l'enfant, des performances plus faibles lors d'une évaluation du développement neurologique, de l'intelligence et de la mémoire étaient associées aux taux d'exposition à la pollution atmosphérique. Chez l'adulte, ce serait l'habileté visuomotrice, la

mémoire et l'apprentissage qui seraient les plus touchés par le taux de pollution atmosphérique, en observant un vieillissement cognitif plus rapide (Clifford et al., 2016).

2.3 Objectifs

L'objectif principal de ce mémoire est de synthétiser la littérature existante sur la relation entre trois axes : la cognition, la pollution atmosphérique et la réserve cognitive. À la suite d'une recherche approfondie, une question centrale a émergé : "La réserve cognitive peut-elle atténuer l'impact délétère de la pollution atmosphérique sur la cognition et le cerveau ?". Ce travail vise ainsi à rassembler les études pertinentes pour répondre à cette question, tout en identifiant les lacunes présentes dans la littérature sur ce sujet.

3. Méthodologie

Dans l'élaboration de la méthodologie, les directives de l'article intitulé '*PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR) : checklist and explanation*' (Tricco et al., 2018) ont été suivies. L'article fournit une checklist de 20 items et une explication détaillée pour la réalisation de revues de la littérature de type '*scoping review*'. En complément, le *JBI Manual for Evidence Synthesis* (Pollock et al., 2023) a également été suivi. La méthodologie proposée par ces articles a été adaptée à la nécessité et aux exigences spécifiques de la réalisation du mémoire.

Cette partie va donc présenter la formulation de la question de recherche, les critères d'inclusion et d'exclusion, les bases de données explorées en finissant par les stratégies de recherche effectuées.

3.1 Critères d'éligibilité

Afin d'établir les critères d'éligibilité, le *JBI Manual for Evidence Synthesis* préconise d'utiliser le modèle Population (ou participants) /Concept/Context PCC. Ce modèle vise à identifier les concepts centraux de la question de recherche, offrant ainsi une fondation solide pour élaborer la stratégie de recherche à employer. Le fait de décomposer la question de recherche de cette façon va permettre de vérifier que tous les critères d'inclusion et d'exclusion ont bien été pris en compte. Ces critères essentiels sont récapitulés de manière synthétique dans le tableau 1.

3.1.1 Population

Cette revue se limite strictement à la population humaine, sans imposer de restrictions quant à l'âge, afin d'examiner si la réserve cognitive peut atténuer l'effet délétère de la pollution

atmosphérique sur la cognition et le cerveau. Pour garantir la généralisabilité des résultats de cette *scoping review* à une vaste population, toutes les études impliquant des individus ayant reçu un diagnostic médical ou psychiatrique seront exclues lors du processus de sélection. Les études portant sur des sujets animaux seront exclues.

3.1.2 Concept

Seront pris en considération dans cette étude tous les articles investiguant la relation entre la pollution atmosphérique, ou tout polluant atmosphérique, et des processus cognitifs ou des mesures cérébrales, et incluant une évaluation de mesures de réserve cognitive (éducation, niveau professionnel, exercice physique, loisirs, interactions sociales). Les critères d'inclusion requièrent que ces articles évaluent cette relation à travers des méthodes telles que la corrélation, la régression, ou la comparaison entre des groupes issus d'environnements soumis à une pollution atmosphérique élevée versus ceux évoluant dans un environnement non pollué.

3.1.3 Contexte

Pour analyser l'impact d'une exposition involontaire et quotidienne à la pollution atmosphérique, les articles où les chercheurs ont délibérément exposé les participants à des polluants seront exclus de l'analyse.

3.1.4 Critères de sélection additionnels

Seuls les articles rédigés en anglais seront soumis à une analyse approfondie, tandis que les publications dans toute autre langue seront exclues de la sélection. De plus, les études de cas, les thèses et les chapitres de livres seront également écartés de l'analyse. En cas d'indisponibilité d'un article pour téléchargement, celui-ci ne sera pas pris en considération dans le cadre de cette revue.

3.2 Bases de données

Afin de récupérer les articles, des bases de données bibliographiques ont été utilisées. Chaque base de données ayant un rôle bien précis, Medline (interface Ovid de 1946 à nos jours) et Psychinfo (interface Ovid de 1806 à nos jours) ont été utilisées pour cette *scoping review*. La date des recherches bibliographiques effectuées sur ces deux moteurs est le 7 mai 2024.

Medline est une base de données en ligne spécialisée dans le domaine médical et de la santé. Gérée par la *National Library of Medicine* (NLM) des États-Unis, elle recueille, indexe et

classe une grande variété de documents scientifiques, notamment des articles de revues médicales, des études de recherche, des essais cliniques, et bien d'autres ressources. Elle se concentre principalement sur les domaines de la psychologie, de la psychiatrie, de la médecine, des soins de santé, des sciences de l'information, des sciences sociales et des sciences de l'éducation (NLM, consulté le 05/10/2023).

PsychINFO est une base de données créée par l'*American Psychological Association* (APA) et est spécialisée dans le domaine de la psychologie et des sciences du comportement. Elle offre un accès étendu à une variété de ressources académiques, y compris des articles de revues, des livres, des rapports de recherche, et des thèses (APA, consulté le 05/10/2023).

	Inclusion	Exclusion
Population	<ul style="list-style-type: none"> • Humains de tout âge 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnostic médical ou psychiatrique • Etudes animales
Concept	<ul style="list-style-type: none"> • Les articles testant le lien entre pollution atmosphérique et cognition (via une corrélation, une régression ou la comparaison de groupe venant d'un environnement pollué versus non pollué) 	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'étude induit des polluants pour l'étude
Contexte	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition spontanée au quotidien 	<ul style="list-style-type: none"> • Si l'étude induit des polluants pour l'étude

Tableau 1. Récapitulatif des critères d'inclusion et d'exclusion

3.3 Stratégies de recherche

Afin d'établir une stratégie de recherche efficace pour la question de recherche, une consultation de revues de littérature existantes a été établie. Cette analyse a permis d'extraire des protocoles de recherche bibliographique pertinents, qui ont servi de source d'inspiration pour adapter notre approche de recherche à notre domaine d'étude. Les articles consultés pour extraire les termes pertinents pour la pollution atmosphérique et la cognition sont les suivants :

- Delgado-Saborit JM, Guercio V, Gowers AM, Shaddick G, Fox NC, Love S. A critical review of the epidemiological evidence of effects of air pollution on dementia, cognitive function and cognitive decline in adult population. *Sci Total Environ.* 2021 Feb

25;757:143734. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143734. Epub 2020 Nov 25. PMID: 33340865.

- Clifford A, Lang L, Chen R, Anstey KJ, Seaton A. Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course--A systematic literature review. *Environ Res.* 2016 May;147:383-98. doi: 10.1016/j.envres.2016.01.018. Epub 2016 Mar 4. PMID: 26945620.
- Thompson R, Smith RB, Karim YB, Shen C, Drummond K, Teng C, Toledano MB. Air pollution and human cognition: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ.* 2023 Feb 10;859(Pt 2):160234. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160234. Epub 2022 Nov 23. PMID: 36427724.

Pour les termes pertinents sur la réserve cognitive, les articles suivants ont été analysés :

- Song S, Stern Y, Gu Y. Modifiable lifestyle factors and cognitive reserve: A systematic review of current evidence. *Ageing Res Rev.* 2022 Feb;74:101551. doi: 10.1016/j.arr.2021.101551. Epub 2021 Dec 21. PMID: 34952208; PMCID: PMC8794051.
- Harrison SL, Sajjad A, Bramer WM, Ikram MA, Tiemeier H, Stephan BC. Exploring strategies to operationalize cognitive reserve: A systematic review of reviews. *J Clin Exp Neuropsychol.* 2015;37(3):253-64. doi: 10.1080/13803395.2014.1002759. Epub 2015 Mar 9. PMID: 25748936.

Afin d'effectuer la recherche la plus complète possible, la recherche a été effectuée en deux parties. La première partie concerne les descripteurs fournis par les deux moteurs de recherches. Ces descripteurs ont été soumis à la fonction « *explode* » afin de faire porter la recherche sur le descripteur sélectionné en associant automatiquement (par OR) tous les descripteurs plus précis (les *narrower terms*) de la structure en arborescence. La deuxième partie concerne une recherche via le langage libre.

Un opérateur de proximité « *adj2* » a été introduit permettant de cibler des articles étant distancé jusqu'à deux mots des mots ciblés. Les descripteurs et le langage libre de chaque thème ont été reliés via l'opérateur booléen « OR ». Ensuite, les trois thèmes ont été liés par l'opérateur « AND ». Pour finir, une limite a été mise pour ne garder que les articles écrits en anglais et concernant l'être humain. Un récapitulatif des descripteurs sont repris dans le tableau 2 pour ceux qui concernent l'exposition aux polluants, dans le tableau 3 pour ceux qui concerne les processus cognitifs ou les mesures cérébrales et dans le tableau 4 pour la réserve cognitive. Le détail de la stratégie de recherche est disponible en annexe 1 pour Medline et en annexe 2 pour PsychINFO.

Exposition aux polluants	
Descripteurs	<p>Medline :</p> <p>exp Air Pollution OR exp Air Pollutants OR exp Soot OR exp Nitrogen Dioxide OR exp Ozone OR exp Vehicule Emissions OR exp Particulate matter</p> <p>PsychINFO :</p> <p>exp Pollution</p>
Langage libre	<p>Medline et PsychINFO :</p> <p>(Air adj2 (pollut* or quality or ambient)).ti,ab. OR (atmospher* adj2 pollut*).ti,ab. OR (Particulate matter or ambient particulate or ultrafine particulate* or ultrafine particle* or UFP).ti,ab. OR (Coarse particle* or Soot or Black smoke or Black carbon or Elemental carbon or wood smoke).ti,ab. OR (Nitrogen dioxide or nitrogen oxide or NOx or NO2 or nitric oxide).ti,ab.</p>

Tableau 2. Descripteurs utilisés pour l'exposition aux polluants

Processus cognitifs ou mesures cérébrales	
Descripteurs	<p>Medline :</p> <p>exp Cognition OR exp Cognitive Dysfunction OR exp Attention OR exp Memory, Long-Term OR exp Memory OR exp Memory, Short-Term OR exp Executive Function OR exp Learning OR exp Reaction Time OR exp Processing speed OR exp Brain OR exp Cerebral Cortex OR exp Gray Matter OR exp White Matter</p> <p>PsychINFO :</p> <p>Exp Cognition OR exp Cognitive Impairment OR exp Cognitive Reserve OR exp Intelligence OR exp Intelligence Quotient OR exp Attention OR exp Long Term Memory OR exp Memory OR exp Short Term Memory OR exp Executive Function OR exp Learning OR exp Reaction Time OR exp Cognitive Processing Speed</p>
Langage libre	<p>Medline et PsychINFO :</p> <p>((react* adj2 (time or speed)) or (process* adj2 (time or speed))).ti,ab. OR cognit*.ti,ab. OR neurobiologic*.ti,ab. OR mental*.ti,ab. OR MRI.ti,ab. OR fMRI.ti,ab.</p>

Tableau 3. Descripteurs utilisés pour l'exposition aux polluants

Réserve cognitive	
Descripteurs	<p>Medline :</p> <p>Cognitive Reserve OR exp Intelligence OR exp Healthy Lifestyle OR Lifestyle OR exp Diet OR exp Sedentary Behavior OR exp Vocabulary OR exp Education OR exp Literacy</p> <p>PsychINFO :</p> <p>Exp Cognition OR exp Cognitive Impairment OR exp Cognitive Reserve OR exp Intelligence OR exp Intelligence Quotient OR exp Attention OR exp Long Term Memory OR exp Memory OR exp Short Term Memory OR exp Executive Function OR exp Learning OR exp Reaction Time OR exp Cognitive Processing Speed</p>
Langage libre	<p>Medline et PsychINFO :</p> <p>lifestyle*.ti,ab. OR life style*.ti,ab. OR exercise*.ti,ab. OR physical activit*.ti,ab. OR physical inactivit*.ti,ab. OR leisure activit*.ti,ab. OR cognitive activit*.ti,ab. OR sleep*.ti,ab. OR meditation*.ti,ab. OR education.ti,ab. OR vocab*.ti,ab. OR profession.ti,ab. OR job.ti,ab. OR occupation.ti,ab. OR intel*.ti,ab. OR learning*.ti,ab. OR school*.ti,ab. OR iq.ti,ab. OR CR.ti,ab.</p>

Tableau 4. Descripteurs utilisés pour la réserve cognitive

3.4 Sélection des articles

Pour importer les articles sélectionnés, nous avons utilisé un fichier ".ris" obtenu à partir des bases de données Medline et PsychINFO. Ces fichiers ont été importés sur Zotero, qui a permis de créer une bibliothèque reprenant la totalité des articles. La première étape de la sélection a consisté à éliminer les doublons qui pourraient apparaître entre les deux bases de données. La deuxième phase de la sélection s'est déroulée en deux étapes. Tout d'abord, un premier tri a été effectué en se basant sur les titres et les résumés pour exclure les articles ne répondant pas à nos critères d'inclusion. Ensuite, une sélection finale a été effectuée en lisant l'intégralité des articles en fonction de nos critères d'éligibilité. Il est important de noter qu'en raison des contraintes de cette étude menée en solitaire, la recommandation du JBI Manual for Evidence Synthesis de faire cette sélection en binôme de chercheurs n'a pas été suivie.

3.5 Processus d'extraction des données

Suite à cette étape de sélection, les données d'extraction seront reprises dans une table d'extraction qui a été divisée en trois sections distinctes pour une organisation systématique des informations (Tableau 5).

La première section du tableau englobe les détails relatifs à la publication des articles, comprenant les noms des auteurs, l'année de publication, le nombre de participants aux études, l'âge des participants, la répartition des genres et le pays des participants.

La deuxième section du tableau est consacrée à notre question de recherche, à savoir les spécificités des polluants examinés, les fonctions cognitives évaluées ainsi que le type de mesure de réserve cognitive.

Enfin, la troisième section du tableau reprend les principaux résultats obtenus et précise si les données récoltées venaient d'analyses statistiques ou bien de données descriptives. Cette structure permet une organisation méthodique des données extraites des articles sélectionnés, facilitant ainsi l'analyse ultérieure des informations pertinentes pour notre étude.

Auteurs et années de publication	Caractéristique de l'échantillon : n, âge, genre, localisation	Polluants	Fonctions cognitives / Mesures cérébrales	Mesure de réserve cognitive	Résultats globaux	Observationnel ou analyse statistique
----------------------------------	----------------------------------------------------------------	-----------	-------------------------------------------	-----------------------------	-------------------	---------------------------------------

Tableau 5. Mesures d'extraction des articles

4. Résultats

4.1 Sélection des études

Dans le cadre de la recherche menée sur les bases de données PsycINFO et Medline le 7 mai 2024, un total de 1 727 articles a été initialement extrait, dont 1 404 provenant de Medline et 323 de PsycINFO. Lors d'un premier tri basé sur la lecture des titres et des résumés, les articles ont été sélectionnés en fonction de critères d'inclusion et d'exclusion préalablement définis. Ainsi, 237 études animales, 121 doublons, 42 articles non rédigés en anglais, 67 revues de littérature, et un article rétracté ont été écartés. De plus, 1 030 articles ne satisfaisant pas les critères ont également été retirés, principalement en raison de l'inclusion de populations

cliniques, de l'évaluation de polluants non pertinents pour cette étude, de l'absence de mesures cognitives ou de réserve cognitive, ou encore de la focalisation sur la pollution intérieure. Au total, 229 articles ont été retenus à ce stade du processus d'identification.

Un second tri, basé sur une lecture complète des articles, a permis de réduire davantage la sélection, excluant 193 articles supplémentaires. Parmi ceux-ci, 13 ont été écartés en raison d'un accès restreint, et 182 ne remplissaient pas les critères d'inclusion. Finalement, 36 articles ont été retenus pour inclusion dans cette revue de la littérature. Un diagramme de flux a été créé (Figure 4) pour illustrer graphiquement les différentes étapes du processus de sélection et le nombre d'articles éliminés à chaque étape.

4.2 Caractéristiques des études sélectionnées

Comme annoncé dans la section "Processus d'extraction des données", les articles étant inclus dans cette étude ont été rassemblés dans une table d'extraction disponible en annexe 3.

4.3 Résultats des études sélectionnées

Pour organiser les résultats de manière structurée, ils ont été répartis en plusieurs sections principales. Ces sections sont axées sur les groupes de population étudiés, notamment les "enfants et adolescents", les "jeunes adultes jusqu'à 40 ans" et les "adultes d'âge moyen à âgés". Chaque section principale est ensuite subdivisée en catégories correspondant aux différentes mesures cognitives : "Cognition générale", "Attention, mémoire de travail et fonction exécutive", "Mémoire", "Vitesse de traitement et temps de réaction", et "Mesures cérébrales". Par la suite, chaque sous-section a été analysée en fonction des divers polluants pour permettre une compréhension plus fine de leurs impacts spécifiques. En annexe 4, un tableau récapitulatif a été élaboré, présentant les principaux résultats ainsi que la tendance générale observée dans chaque catégorie.

La classification des âges et des mesures cognitives s'inspire de l'approche adoptée par Thompson et al. (2023). Ils ont observé que les études impliquant des participants de plus de 40 ans tendaient à se chevaucher entre les différentes tranches d'âge plus avancées. Cette organisation a donc été jugée la plus appropriée pour intégrer l'ensemble des résultats. La structure des mesures cognitives a été réalisée en fonction de leur répartition dans la littérature et selon les tests cognitifs largement utilisés qui sont notamment repris dans les études sélectionnées. Une explication plus détaillée des articles a générale été faites lorsqu'il n'y avait qu'un article dans la catégorie.

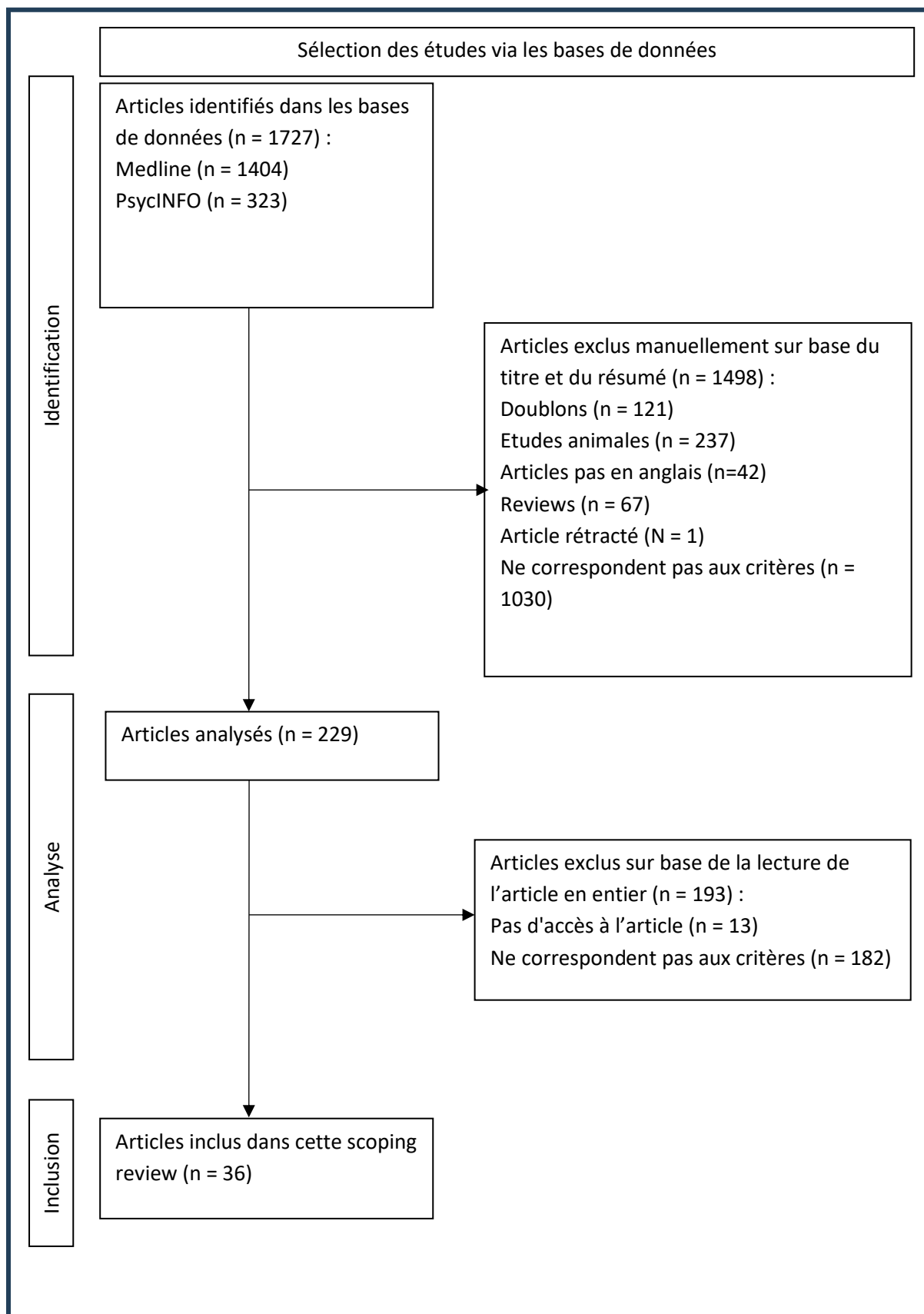


Figure 4. Diagramme de flux

4.3.1 Enfants et adolescent

4.3.1.1 Cognition générale

PM2.5

L'article de Hurtado-Diaz et al. (2021) a étudié les associations entre une exposition prénatale aux PM2.5 et la cognition générale lors des deux premières années de vie. Lors de leurs diverses analyses, ils ont pris en compte plusieurs covariables, notamment le nombre d'années d'études maternelle. L'inclusion des covariables n'a pas significativement modifié les résultats. Cependant, les données spécifiques de cette analyse, ainsi que les modèles avant et après inclusion des covariables, ne sont pas disponibles.

4.3.1.2 Intelligence, QI et raisonnement

PM10

Une seule étude (Loftus et al., 2019) a évalué l'impact des PM10 sur le QI des enfants. Pour le modèle brut, le score de régression entre le QI et le polluant était de -2.79 (-5.16, -0.41) par tranche 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ supplémentaire de PM10. Le score du modèle ajusté pour l'éducation de la mère, le statut d'assurance, les sous-échelles de l'indice d'opportunité de l'enfance, l'âge, l'ethnicité et le QI de la mère, la dépression prénatale, le tabagisme prénatal, l'ordre de naissance, l'allaitement, le sommeil de l'enfant était de -2.47 (-4.79, -0.14). Tandis que le score du modèle élargi, ajusté pour utilisation de vitamines prénatales, l'état matrimonial, le niveau d'éducation du père, l'indice de masse corporelle de la mère avant la grossesse et le score de l'enquête sur les connaissances relatives au développement du nourrisson était de -2.44 (-4.80, -0.09).

Les résultats montrent que tous les 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10, le score de QI diminue de 2.79. Lors de l'ajustement, le score de régression se réduisait légèrement, passant à 2.47 puis à 2.44, signifiant un léger effet modérateur des covariables. L'éducation parentale en faisant partie, elle pourrait potentiellement avoir un effet modérateur sur l'impact des PM10 sur le QI dans l'enfance. Etant donné le nombre de covariables prises en compte, il est essentiel d'examiner leur contribution spécifique pour mieux comprendre ces effets.

PM2.5

L'intelligence et le QI chez les enfants et adolescents ont été investigués par quatre études. Deux d'entre elles se concentraient le BC et les PM2.5 (Harris et al., 2015; X. Sun et al., 2023), tandis que les deux autres se limitaient aux PM2.5 (Dominguez et al., 2024; Ni et al., 2022). En ce qui

concerne les facteurs de réserve cognitive, trois études ont pris en compte l'éducation maternelle ou parentale (Dominguez et al., 2024; Harris et al., 2015; Ni et al., 2022). Les observations de ces études reposent sur la comparaison entre leurs modèles brut et un modèle incluant l'éducation parentale comme covariable, fournissant ainsi des données uniquement descriptives. Une seule étude a pris en compte l'activité physique (X. Sun et al., 2023) dont les observations sont représentées par des données statistiques.

Lors d'une exposition à la pollution pendant le premier trimestre de grossesse, l'étude de Ni et al. (2022) montre que de plus hautes variables de réserves cognitives donnaient de plus hauts scores d'associations entre les niveaux de pollution et la cognition mesurés dans l'enfance, alors que Sun et al. (2023) n'ont trouvé aucune interaction significative. Ces résultats sont similaires pour l'exposition durant le second trimestre de grossesse, cependant, au troisième trimestre, un schéma similaire est observé, avec l'étude de Harris et al. (2015) qui vient soutenir les résultats de Sun et al. (2023), ne montrant pas de différence entre les scores.

Lors d'exposition à la pollution pendant l'enfance, de plus hautes variables de réserves cognitives augmentaient les scores d'associations entre les mesures de pollution et de cognition à domicile (Harris et al., 2015; Ni et al., 2022). Cependant, l'étude de Dominguez et al. (2024) ne montre pas d'augmentation à domicile mais seulement à l'école et lors du trajet maison-école.

Il est donc possible que l'éducation parentale joue un rôle modérateur sur l'association entre les mesures de pollution et de cognition. Toutefois, ces propos sont à nuancer car ce n'était pas la seule variable faisant partie des covariables modifiant les résultats. D'autres facteurs pourraient également être à l'origine de cette modulation. Concernant l'activité physique, le seul article traitant de ce sujet n'a pas montré de résultats significatifs.

NO2

Quatre études ont permis d'étudier le lien entre le NO2 et l'intelligence, ainsi qu'avec le QI (Dominguez et al., 2024; Loftus et al., 2019; Ni et al., 2022; Porta et al., 2016). Dominguez et al. (2024) et Loftus et al. (2019) montrent des mesures de réserve cognitive via l'éducation parentale tandis que les études de Ni et al. (2022) et Porta et al. (2016) concernent des mesures sur l'éducation maternelle. Parmi ces études, seule celle de Porta et al. (2016) fournit des résultats statistiques détaillés. Les données des trois autres études concernent des données descriptives et se reposent sur la comparaison des scores entre modèle brut et modèle ajusté.

Ni et al. (2022) est la seule étude à examiner l'exposition prénatale au NO₂. Les données montrent que les scores augmentent le modèle brut et le modèle ajusté pour plusieurs covariables, y compris l'éducation maternelle, suggérant un potentiel effet modérateur de l'éducation maternelle sur l'association entre le NO₂ prénatal et le QI entre 4 et 6 ans.

Pour l'exposition lors de l'enfance, plusieurs études rapportent des scores plus élevés après ajustement pour l'éducation maternelle (Dominguez et al., 2024; Loftus et al., 2019; Ni et al., 2022), ce qui suggère un possible effet modérateur de l'éducation maternelle entre le NO₂ et les mesures cognitives. Cependant, l'étude de Porta et al. (2016) montre que le test de Wald pour la différence entre les groupes d'éducation n'est pas statistiquement significatif, indiquant que les variations observées pourraient être dues au hasard. Il convient de prendre ces résultats descriptifs avec prudence, en particulier en raison du nombre de covariables susceptibles d'influencer les scores.

Concernant l'éducation paternelle, Dominguez et al. (2024) montrent des scores plus élevés après ajustement, tandis que Loftus et al. (2019), n'observent pas cette augmentation. De plus, les analyses statistiques de Porta et al. (2016) ne montrent pas de différence significative entre les niveaux d'éducation paternelle, suggérant qu'elles sont potentiellement dues au hasard.

4.3.1.3 Attention, mémoire de travail et fonction exécutive

PM2.5

Le lien entre les PM_{2.5} et les fonctions cognitives telles que l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutive a été exploré par six études (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Basagana et al., 2016; Dominguez et al., 2024; Pujol et al., 2016; Sunyer et al., 2015, 2017). Quatre de ces études ont évalué le carbone noir (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Pujol et al., 2016; Sunyer et al., 2015, 2017), tandis que trois se sont concentrées sur les PM_{2.5} (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Basagana et al., 2016; Dominguez et al., 2024). Les observations récoltées ont été fournies via trois études stratifiées par l'éducation maternelle (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Sunyer et al., 2015, 2017), avec des résultats statistiques pour la première et des données descriptives pour les deux autres. Deux études ont donné des résultats via comparaison de modèle (Basagana et al., 2016; Dominguez et al., 2024) et une autre a fourni des résultats statistiques (Pujol et al., 2016).

Les six études ont évalué l'attention chez des enfants âgés de 6 à 12 ans. En ce qui concerne l'exposition aux PM_{2.5}, deux études ont montré des scores d'attention plus élevés chez des

enfants dont les parents avaient un niveau d'éducation plus élevé (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Dominguez et al., 2024). Cependant, les scores et statistiques de l'étude d'Alvarez-Pedrerol et al. (2017) suggèrent que ces résultats pourraient être dûs au hasard. L'étude de Basagana et al. (2016) a révélé que les scores d'attention étaient plus élevés pour les PM2.5 provenant de certaines sources telles que le sulfate secondaire et organique, le nitrate secondaire, la métallurgie et la combustion de pétrole lourd, mais diminuaient pour les PM2.5 provenant de sources minérales, du trafic, du textile/organique/craie, des poussières routières et des embruns marins. Il y a donc peu de chance pour que l'éducation parentale joue un rôle dans cette association. Concernant le carbone noir, quatre études ont montré qu'un plus haut niveau d'éducation parentale diminuait les scores d'attention ou n'avait aucun effet sur ces scores (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Pujol et al., 2016; Sunyer et al., 2015, 2017).

L'association avec la mémoire de travail était évaluée à travers cinq études (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Basagana et al., 2016; Pujol et al., 2016; Sunyer et al., 2015, 2017). Concernant un potentiel effet modérateur de l'éducation maternelle pour l'association entre la mémoire de travail et les PM2.5, Basagana et al. (2016) trouvaient des meilleurs scores en mémoire de travail pour les PM2.5 venant du sulfate organique et secondaire, du nitrate secondaire et pour la métallurgie. Et les scores diminuaient lorsque qu'elles venaient de sources minérales, du trafic, du textile/organique/craie, des poussières routières, des embruns marins et de la combustion de pétrole lourd. Cependant, Alvarez-Pedrerol et al. (2017) ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les niveaux d'éducation maternelle, suggérant que les résultats pourraient être dûs au hasard. Cela pourrait indiquer un potentiel effet modérateur en fonction de la source d'émission des PM2.5. En ce qui concerne le carbone noir, deux études ont montré des scores de mémoire de travail plus faibles pour un niveau d'éducation maternelle plus élevé (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Sunyer et al., 2015), tandis que Pujol et al. (2016) n'ont pas trouvé d'effet pertinent sur le score de mémoire de travail. Sunyer et al. (2017) ont observé des scores plus élevés de mémoire de travail chez les personnes ayant un niveau d'éducation plus élevé, suggérant un potentiel effet modérateur.

En ce qui concerne les fonctions exécutives, seule l'étude de Dominguez et al. (2024) les a évaluées. Il est peu probable que l'éducation parentale joue un rôle modérateur entre les PM2.5 et les fonctions exécutives étant donné qu'il n'y a que peu voire pas de changement entre les scores du modèle brut et du modèle ajusté.

NO2

L'association entre le NO₂ et l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives ont été évaluées par cinq études (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Dominguez et al., 2024; Pujol et al., 2016; Sunyer et al., 2015, 2017). Des résultats ont été obtenus via trois études stratifiées par l'éducation maternelle (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Sunyer et al., 2015, 2017), avec des résultats statistiques pour la première et des données descriptives pour les deux autres. Une étude a fourni des résultats statistiques (Pujol et al., 2016) et une autre étude a été utile en comparant le modèle brut au modèle ajusté.

L'attention a été évaluée dans les cinq études. En ce qui concerne l'exposition aux NO₂, deux études ont montré des scores d'attention plus élevés chez des enfants dont les parents avaient un niveau d'éducation plus élevé (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Dominguez et al., 2024). Cependant, deux études (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Pujol et al., 2016) obtiennent des résultats non significatifs pour l'éducation maternelle comme potentiel modérateur, ce qui suggère que ces résultats pourraient être dûs au hasard. Il y a donc peu de chance pour que l'éducation parentale joue un rôle dans cette association. Les deux études de Sunyer et al. (2015, 2017) ont obtenu des scores opposés pour les participants ayant un niveau plus élevé d'éducation maternelle. Globalement, il est peu probable que l'éducation maternelle ou parentale modère l'association entre le NO₂ et l'attention.

Quatre études ont évalué l'association entre le NO₂ et la mémoire de travail (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Pujol et al., 2016; Sunyer et al., 2015, 2017). Alvarez-Pedrerol et al. (2017) et Pujol et al. (2016) obtiennent des résultats non significatifs pour l'éducation maternelle comme potentiel modérateur, ce qui suggère que ces résultats pourraient être dûs au hasard. Les deux études de Sunyer et al. (2015, 2017) ont obtenu des scores plus bas pour les participants ayant un niveau plus élevé d'éducation maternelle. Tous les résultats montrent qu'il n'y a potentiellement pas de modulation de la part de l'éducation maternelle et parentale.

Concernant les fonctions exécutives, seule l'étude de Dominguez et al. (2024) a fourni des données. Les scores obtenus pour le modèle brut et le modèle ajusté présentaient peu de différence, ce qui rend peu probable l'hypothèse selon laquelle l'éducation parentale jouerait un rôle modérateur entre le NO₂ et les fonctions exécutives.

4.3.1.4 Mémoire

PM2.5

Deux études ont permis d'évaluer l'association entre les PM2.5 et la mémoire (Harris et al., 2015; X. Zhang et al., 2022). En outre, l'étude de Harris et al. (2015) évalue en plus le carbone noir, avec des résultats descriptifs venant de la comparaison entre un modèle brut et un modèle ajusté, en prenant en compte l'éducation parentale comme mesure de réserve cognitive. En revanche, X. Zhang et al. (2022) se fondent sur des analyses statistiques et ont l'éducation maternelle comme facteurs de réserve cognitive.

Les deux études se concentrent spécifiquement sur la mémoire des images. X. Zhang et al. (2022) suggèrent que l'éducation maternelle pourrait potentiellement modifier l'association entre les PM2.5 et la mémoire, selon un test de séquence d'image. En revanche, Harris et al. (2015) n'observent pas de changement significatif dans les scores après ajustement, suggérant une absence de modification de l'association, tant pour les PM2.5 que pour le BC, en ce qui concerne la mémoire des images et de conception.

4.3.1.5 Vitesse de traitement et temps de réaction

PM25 et NO2

Des résultats significatifs ont été trouvés, indiquant que des plus hauts taux de mesure combinée de la pollution (EC + NO2) augmentait le temps de réaction lors d'une tâche cognitive ($\beta = 0.154$; $p = .015$). Cependant, les facteurs de confusion potentiels ont été testés, y compris le niveau d'éducation parentale, et aucun d'eux n'a montré d'effet pertinent sur les résultats (Pujol et al., 2016).

4.3.1.6 Mesures cérébrales

PM2.5

Deux études ont évalué l'interaction entre des mesures cérébrales et les PM2.5 ou le carbone noir (Peterson et al., 2022; Pujol et al., 2016) chez les enfants. Peterson et al. (2022) ont étudié l'exposition prénatale, tandis que Pujol et al. (2016) se sont concentrés sur l'exposition pendant l'enfance. Les deux études n'ont montré aucun changement significatif après ajustement pour les covariables, y compris l'éducation parentale et maternelle.

NO2

L'étude de Pujol et al. (2016) montre des résultats significatifs, indiquant qu'une mesure combinée de la pollution (EC + NO2) était associée à des changements fonctionnels du cerveau (DMN) sans effet significatif sur le changement de l'anatomie ou la structure cérébrale. Les

facteurs de confusion potentiels ont été testés, dont le niveau d'éducation parentale, et aucun d'eux n'a montré d'effet sur les résultats.

4.3.2 De jeunes adultes à 40 ans

4.3.2.1 Cognition générale

PM2.5

Une seule étude (Calderon-Garciduenas et al., 2021) a permis de tirer des informations concernant les PM2.5, la cognition générale et une mesure de réserve cognitive. Le score de cognition générale a été évalué via la MoCA. Le taux de PM2.5 a été relevé dans trois villes à taux de pollution très différents lors de l'évaluation en 2019. La ville métropolitaine de Mexico avec un taux de PM2.5 de 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, le port de Veracruz avec un taux de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et Hermosillo (partie centrale côtière du Golfe du Mexique) avec un taux de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le niveau d'éducation a été relevé en nombre d'année d'études.

Dans cette étude, les scores de la MoCA étaient significativement plus élevés pour les participants de plus de 31 ans d'Hermosillo comparés aux habitants de Mexico ($p < .0001$). Mais ils ne l'étaient pas pour les comparaisons entre Mexico vs. Veracruz chez les moins de 30 ans ($p = .5$) et chez les plus de 31 ans ($p = 0.4$), ou encore chez les plus de 31 ans pour Mexico vs. Hermosillo ($p = .2$). Les chercheurs affirment que le nombre d'années d'études ont impacté positivement les résultats à la MoCA, et ce, dans les trois villes ($p < .0001$). Cependant, aucun chiffre ni donnée n'est visible depuis les tableaux et figures de l'article. Il n'est donc pas possible d'approfondir la direction des scores ni de savoir si l'éducation, facteur de la réserve cognitive, permettait ou non de réduire l'impact des PM2.5 sur la cognition générale.

4.3.2.2 Attention, mémoire de travail et fonction exécutive

PM10

Seule une étude (Chen & Schwartz, 2009) a fourni des données pertinentes sur la relation entre l'attention, les PM10 et le nombre d'années d'éducation. Dans cette étude, les scores au SDST reflétait des scores d'attention soutenue pendant que les score au SDLT représente des scores d'attention.

Le score de régression du SDST augmentait de 0.08 (0.04, 0.13) par tranche 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ supplémentaire de PM10 annuelle, et ce, sur le modèle brut. Le score du modèle ajusté pour l'âge, le sexe et l'ethnicité était de 0.01 (-0.04, 0.06), tandis que le score du modèle ajusté pour l'âge, le sexe, l'éducation et le revenu familial était de 0.00 (-0.04, 0.05).

Des interactions similaires ont été trouvées pour les scores du SDLT. Le score « *Trials to criterion* » augmentait de 0.22 (0.13, 0.31) par augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 annuelle. En ajustant pour l'âge, le sexe et l'ethnicité, le score diminuait à 0.01 (-0.08, 0.10) mais de façon non significative. Et sur un second ajustement pour l'âge, le sexe, l'éducation et les revenus familiaux, le score passait à 0.09 (0.00, 0.17). De leur côté, les scores totaux du SDLT augmentaient de 0.44 (0.23, 0.65) par augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 annuelle. En ajustant pour l'âge, le sexe et l'ethnicité, les scores passent à -0.07 (-0.27, 0.13) et lors de l'ajustement pour l'âge, le sexe, l'éducation et les revenus familiaux, le score passait à 0.12 (-0.07, 0.31).

Les trois scores passent de statistiquement significatifs pour le modèle brut à non significatifs pour les modèles ajustés, signifiant que les différentes covariables pourraient expliquer en partie la relation observée entre le taux de PM10 et les scores cognitifs. Par ailleurs, la diminution du coefficient de régression entre le modèle brut et le second modèle ajusté pour le SDST suggère un potentiel effet modérateur de l'éducation, pouvant jouer un rôle protecteur. Concernant les scores au SDLT, l'inclusion de l'éducation ne modifie pas significativement le coefficient de régression, ce qui rend difficile toute interprétation. L'effet des PM10 sur les scores d'attention soutenue pourrait être atténué par un plus grand nombre d'année d'étude.

PM2.5

Zhang et al. (2022) ont été les seuls à explorer le lien entre les fonctions exécutives, les PM2.5 et des mesures de réserve cognitive.

Des résultats statistiquement significatifs ont été trouvés pour la tâche de Stroop. Il y avait une augmentation de 0.0064 ($p = .039$) secondes au temps de bonne réponse pour chaque augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5. Une amélioration significative de ce temps était observée. Par tranche de 10 minutes de MVPA par jour, le score diminuait de 0.047 secondes ($p = 0.048$). C'est-à-dire que pour compenser les effets négatifs des PM2.5 journalières, il fallait faire 13.6 minutes d'MVPA par augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De plus, lorsque des sous-groupes ont été créés pour la qualité de l'air (mauvaise, moyenne, bonne), des résultats significatifs sont ressortis montrant une amélioration grâce à la MVPA sur le temps de bonne réponse lorsque la qualité de l'air était mauvaise (-0.010, $p = 0.035$). Lorsque la qualité de l'air était moyenne, voire bonne, l'amélioration du temps de réponse était moindre et non significative (respectivement -0.0032, $p = 0.31$; -0.0030, $p = 0.45$).

Au niveau des données observationnelles, les données précédentes ont un modèle brut suivi d'un modèle ajusté notamment pour l'éducation. Pour les premières données, le modèle brut

prévoyait qu'une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$ augmentait le temps de bonne réponse de 0.0082 ($p = 0.0082$) et le modèle ajusté pour le sexe, l'âge, le niveau d'éducation, la taille, la température et l'humidité passait à 0.0064 ($p = 0.039$). Pour les secondes données, le modèle brut donnait, par tranche de 10 minutes de MVPA par jour, une diminution du temps pour les bonnes réponses de 0.0030 secondes ($p = 0.21$) et pour le modèle ajusté, le score était plus grand, passant à une diminution de 0.0047 ($p = 0.048$). Pour les dernières données, le modèle de base donnait, par tranche de 10 minutes de MVPA par jour lorsque la qualité de l'air était mauvaise, une diminution du temps pour les bonnes réponses de 0.0082 secondes ($p = 0.079$) et pour le modèle ajusté, le score était plus grand, passant à une diminution de 0.010 ($p = 0.035$). Pour les qualités de l'air moyenne et bonne, l'ajustement a fait augmenter les scores. Au vu des changements dans les scores de régression, il se pourrait que l'éducation joue un potentiel rôle modérateur. Etant donné le nombre de variables et vu que ces données n'ont pas été analysées statistiquement, rien n'est certain.

O3

Seule une étude (Chen & Schwartz, 2009) a permis d'avoir des données pertinentes. Cette étude va permettre de faire le lien entre l'attention, l'O3 et des mesures de réserve cognitive (éducation, situation de l'emploi, exercice physique). Dans cette étude, les scores au SDST reflétaient des scores d'attention soutenue pendant que les score au SDLT représente des scores d'attention.

Une augmentation du score SDST de 0.15 (0.04, 0.26) a été observée par augmentation de 10 partie par milliard (ppb) d'O3. Lorsque le modèle était ajusté pour l'âge, le sexe et l'ethnicité, le score passait à 0.16 (0.06, 0.25). Le second modèle ajusté ajoutait au modèle précédent l'éducation, le revenu familial, la situation de l'emploi, le ratio pauvreté-revenu et la taille de la famille, ce qui donnait un score de régression de 0.14 (0.05, 0.23). Le dernier modèle ajoutait au précédent des facteurs liés au style de vie (consommation d'alcool, tabagisme, activité physique), la désignation urbaine/rurale et des facteurs de risques cardiovasculaires, faisant passer le score a 0.11 (0.00, 0.22).

Concernant les scores du SDLT, dans le modèle brut, une augmentation de 10 ppb d'O3 augmentait le nombre d'essais nécessaires pour atteindre le critère de performance au SDLT de 0.27 (0.07, 0.47). Après ajustement pour l'âge, le sexe et l'ethnicité, le modèle passait à 0.32 (0.14, 0.51) et restait statistiquement significatif. Le dernier modèle ajusté pour l'âge, le sexe, l'éducation, le revenu familial, la situation de l'emploi, le ratio pauvreté-revenu et la taille de

la famille diminue 0.23 (0.05, 0.41). Le dernier modèle ajoutait au précédent des facteurs liés au style de vie (consommation d'alcool, tabagisme, activité physique), la désignation urbaine/rurale et des facteurs de risques cardiovasculaires, faisant passer le score à 0.26 (0.03, 0.48), tout en restant statistiquement significatif. La diminution du coefficient de régression suggère un potentiel effet modérateur de l'éducation. Le même schéma est observé pour les scores totaux au SDLT. Les scores de régression étaient de 0.59 (0.14, 1.05) pour le modèle brut, passant à 0.73 (0.31, 1.15) pour un modèle ajusté pour l'âge, le sexe et l'ethnicité et finissant à 0.53 (0.13, 0.93) pour un modèle ajusté pour l'âge, le sexe, l'éducation, le revenu familial, la situation de l'emploi, le ratio pauvreté-revenu et la taille de la famille. Le dernier modèle ajoutait au précédent des facteurs liés au style de vie (consommation d'alcool, tabagisme, activité physique), la désignation urbaine/rurale et des facteurs de risques cardiovasculaire, faisant passer le score à 0.52 (0.03, 1.01).

Concernant l'attention soutenue, il semblerait que les covariables expliquent en partie l'association significative du modèle brut, étant donné que le troisième modèle ajusté devient non significatif. Cependant, pour l'attention, même après avoir été ajustés, les modèles restent statistiquement significatifs et donc plus robustes. Ce qui indique que l'O₃ aurait bien un effet négatif sur l'attention. Les 3 scores de régression diminuent du modèle brut au troisième modèle ajusté pour le SDST et le score total du SDLT. Ceci révèle un potentiel effet modérateur de l'éducation, de la situation de l'emploi et de l'activité physique. En revanche, pour le « *Trials to criterion* » au SDLT, seules l'éducation et la situation de l'emploi pourraient avoir potentiellement un rôle modérateur. Les participants avec un niveau d'éducation plus élevé, une meilleure situation de l'emploi et faisant des activités physiques auraient potentiellement une meilleure résistance face aux effets négatifs de l'O₃ sur l'attention.

4.3.2.3 Mémoire

Les données sont similaires aux scores de PM₁₀ et de l'O₃ pour l'attention de Chen & Schwartz (2009) mais uniquement pour le score au SDLT, étant donné que cette tâche évalue l'attention mais également la mémoire à court terme. Il semblerait donc que les différentes covariables puissent en partie expliquer l'effet des PM₁₀ sur la mémoire, mais que l'O₃ aurait bien un effet négatif sur la mémoire à court terme. L'inclusion de l'éducation pour le score de régression entre les PM₁₀ et les scores au SDLT n'a pas particulièrement modifié les résultats, rendant difficile toute interprétation. Tandis que pour les scores de régression avec l'O₃, il y a un potentiel effet modérateur de l'éducation et de la situation de l'emploi. L'activité physique, elle,

est potentiellement modératrice mais observée uniquement sur le score total du SDST. Cette diminution de score renvoi à un potentiel effet protecteur de l'éducation pour la pollution des PM10 sur la mémoire ainsi qu'à un effet protecteur de l'éducation, de la situation de l'emploi et de l'activité physique pour l'O3.

4.3.2.4 Vitesse de traitement et temps de réaction

PM10

Une seule étude (Chen & Schwartz, 2009) a permis d'avoir des données pertinentes sur le lien entre le temps de réaction, les PM10 et l'éducation.

Le modèle brut du score au SRTT prévoyait une augmentation de 2.14 (-0.08, 4.36) par augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 annuelle. En ajustant le modèle pour l'âge, le sexe et l'ethnicité, il passait à -0.11 (-2.38, 2.16). Puis le modèle final ajusté pour l'âge, le sexe, l'éducation et les revenus familiaux passait à -0.36 (-2.58, 1.85).

En passant de 2.14 à -0.36 dans le score de régression après ajustement, il est clair qu'il y a une forte influence des covariables sur l'association entre les PM10 et les performances au SRTT. L'éducation étant présente, il se peut qu'elle ait un effet modérateur, mais cela nécessiterait des tests statistiques non présents dans l'étude.

O3

Seule une étude (Chen & Schwartz, 2009) a permis d'avoir des données pertinentes sur le lien entre le temps de réaction, l'O3 et des mesures de réserve cognitive (éducation, situation de l'emploi, exercice physique).

Les performances au SRTT donnaient un score de régression de 1.15 (-3.69, 5.99) pour le modèle brut, passant à 0.45 (-4.20, 5.10) pour un modèle ajusté pour l'âge, le sexe et l'ethnicité et finissant à -0.01 (-4.74, 4.73) pour un modèle ajusté pour l'âge, le sexe, l'éducation, le revenu familial, la situation de l'emploi, le ratio pauvreté-revenu et la taille de la famille. Le dernier modèle ajoutait au précédent des facteurs liés au style de vie (consommation d'alcool, tabagisme, activité physique), la désignation urbaine/rurale et des facteurs de risques cardiovasculaire, faisant passer le score à -0.92 (-6.45, 4.61).

Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'association statistiquement significative entre l'exposition à l'O3 et les scores au SRTT, aussi bien dans les modèles bruts qu'ajustés. Cela suggère que les covariables ou d'autres variables expliquent potentiellement la relation

observée. Bien que l'effet de l'éducation, de la situation de l'emploi et de l'exercice physique ne soient pas explicitement visibles, il se pourrait qu'ils aient contribué à la diminution du score de régression et qu'ils aient eu un rôle modérateur.

4.3.3 Adultes d'âge moyen à âgés

4.3.3.1 Cognition générale

PM10

Quatre études ont examiné l'association entre la cognition générale et l'exposition aux PM10 (Lee et al., 2022; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020; Ogurtsova et al., 2023). Parmi celles-ci, trois études ont utilisé l'activité physique comme mesure de la réserve cognitive et ont évalué la cognition générale à l'aide du *Mini Mental State Examination* (MMSE) (Lee et al., 2022; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020). Une autre étude a considéré l'éducation comme facteur de réserve cognitive et a utilisé le *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA) pour évaluer la cognition générale (Ogurtsova et al., 2023).

Les trois études portant sur l'activité physique convergent vers un constat similaire : l'activité physique exerce un effet protecteur sur l'interaction entre la cognition générale et les PM10 (Lee et al., 2022; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020). Selon les résultats de Lee et al. (2022), les participants moins actifs physiquement présentaient des effets plus néfastes des PM10 sur leur cognition par rapport à ceux pratiquant une activité physique régulière. Les recherches de Molina-Sotomayor et al. (2019, 2020) ont également révélé que l'exercice d'aérobic et l'entraînement en résistance physique pouvaient atténuer les effets des PM10 sur la cognition générale.

En revanche, l'inclusion de l'éducation comme facteur de confusion dans l'étude d'Ogurtso et al. (2023) n'a pas modifié les résultats, ce qui suggère qu'il n'existe pas d'effet modérateur entre la cognition générale et l'exposition aux PM10.

PM2.5

Onze études ont évalué la relation entre les PM2.5 et la cognition générale (Han & Jia, 2022; Jiang et al., 2024; Lee et al., 2022; Liu et al., 2023; Ma et al., 2022; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020; Ogurtsova et al., 2023; Shin et al., 2019; Younan et al., 2022; L. Zhang et al., 2022). Parmi celles-ci, dix études ont recolté des données sur l'activité physique qui vont être prises comme facteur de réserve cognitive (Han & Jia, 2022; Jiang et al., 2024; Lee et al., 2022; Liu et al., 2023; Ma et al., 2022; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020; Ogurtsova et al., 2023;

Shin et al., 2019; Younan et al., 2022; L. Zhang et al., 2022). Pour certaines études, c'est l'éducation qui a été utilisée (Han & Jia, 2022; Jiang et al., 2024; Ogurtsova et al., 2023; Shin et al., 2019; Younan et al., 2022), et c'est également la seule association où les loisirs (Han & Jia, 2022) et les activités sociales (Jiang et al., 2024; L. Zhang et al., 2022) ont pu être explorées. Neuf de ces études ont permis d'avoir des résultats statistiques (Han & Jia, 2022; Jiang et al., 2024; Lee et al., 2022; Liu et al., 2023; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020; Ogurtsova et al., 2023; Shin et al., 2019; L. Zhang et al., 2022) tandis que deux autres études ont permis d'avoir des données descriptives (Ma et al., 2022; Younan et al., 2022).

Concernant l'activité physique, divers résultats sont en faveur de l'activité physique sur l'association entre les PM2.5 et la cognition générale. Cela suggère un potentiel effet modérateur, ainsi qu'un impact positif de l'activité physique plus marqué chez ceux étant exposés à de faibles taux de PM2.5. Cependant, même en présence de niveaux élevés de pollution, l'activité physique reste bénéfique comparée à l'inactivité (Han & Jia, 2022; Jiang et al., 2024; Lee et al., 2022; Liu et al., 2023, 2023; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020). Certaines études, toutefois, n'ont pas observé de changement de score significatif après ajustement pour l'éducation sur l'association entre les PM2.5 et la cognition générale (Ma et al., 2022; Ogurtsova et al., 2023; Younan et al., 2022; L. Zhang et al., 2022).

Concernant l'éducation, deux études (Han & Jia, 2022; Y. Jiang et al., 2024) ont suggéré qu'elle pourrait modérer l'impact des PM2.5 sur la cognition, sans toutefois annuler complètement les effets négatifs. Shin et al. (2019) rejoignent cette conclusion, soulignant que les personnes moins éduquées sont plus susceptibles de subir des impacts cognitifs liés aux PM2.5. D'un autre côté, deux études (Ogurtsova et al., 2023; Younan et al., 2022) n'ont pas observé de modification des scores après ajustement pour l'éducation.

En ce qui concerne les loisirs, Han & Jia (2022) ont trouvé un effet négatif des PM2.5 sur la cognition générale, mais également un effet positif des loisirs. Toutefois, en l'absence de comparaisons ou d'analyses plus approfondies, il est difficile de quantifier l'impact relatif de ces facteurs.

Enfin, concernant l'engagement social, les résultats divergent. Y. Jiang et al. (2024) ont observé que les individus participant activement à des activités sociales étaient moins affectés par les PM2.5, ce qui suggère un effet protecteur potentiel. À l'inverse, L. Zhang et al. (2022) n'ont noté aucun changement significatif des scores après ajustement pour l'engagement social.

O3

Trois études ont exploré la cognition générale et l'exposition à l'O3, en utilisant l'activité physique comme facteur de réserve cognitive (Ma et al., 2022; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020). Ma et al. (2022) ont mesuré l'activité physique de manière binaire (« oui » ou « non »), avec des résultats basés sur des données observationnelles. En revanche, les recherches de Molina-Sotomayor et al. (2019, 2020) ont évalué l'exercice d'aérobic et l'entraînement en résistance physique, s'appuyant sur des analyses statistiques.

Les deux études menées par Molina-Sotomayor et al. (2019, 2020) suggèrent que l'exercice d'aérobic et l'entraînement en résistance peuvent atténuer les effets néfastes de l'O3 sur la cognition générale, jouant ainsi un rôle protecteur. Toutefois, dans l'étude de Ma et al. (2022), l'ajustement pour une activité physique régulière n'a pas semblé modifier les résultats, indiquant que, dans ce cas, l'activité physique n'a pas montré d'effet protecteur significatif sur l'association entre l'O3 et la cognition générale.

NO2

L'association entre le NO2 et la cognition générale a été évaluée par cinq études (Ma et al., 2022; Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020; Ogurtsova et al., 2023; Younan et al., 2022). Toutes ces études ont pris en compte l'exercice physique comme facteur de réserve cognitive, et deux d'entre elles ont également intégré une mesure de l'éducation (Ogurtsova et al., 2023; Younan et al., 2022). Les résultats ont été interprétés à partir de données observationnelles dans deux études (Ma et al., 2022; Younan et al., 2022), tandis que les trois autres se sont appuyées sur des analyses statistiques (Molina-Sotomayor et al., 2019, 2020; Ogurtsova et al., 2023).

Concernant l'éducation, les deux études n'ont pas montré de changement de score après son inclusion dans les variables confondantes, ce qui ne suggère pas d'effet modérateur de l'éducation sur l'association entre le NO2 et la cognition (Ogurtsova et al., 2023; Younan et al., 2022).

Concernant l'activité physique, l'étude (Ma et al., 2022) a révélé que, après ajustement pour cette variable, les scores de cognition générale n'ont pas montré de variation significative, suggérant que l'activité physique ne joue probablement pas un rôle modérateur dans l'association entre l'exposition au NO2 et la cognition générale. D'un autre côté, les deux études de Molina-Sotomayor et al. (2019, 2020) suggèrent que l'exercice d'aérobic et l'entraînement

en résistance peuvent atténuer les effets néfastes du NO₂ sur la cognition générale, agissant ainsi comme un facteur protecteur.

4.3.3.2 Attention, mémoire de travail et fonction exécutive

PM10

Deux études ont examiné l'impact des PM10 sur l'attention et les fonctions exécutives, en tenant compte de l'éducation comme facteur de réserve cognitive (Wood et al., 2024; Y. Yao et al., 2022). Les données qui ressortent de l'étude de Wood et al. (2024) sont des données descriptives et concernent les fonctions exécutives, tandis que ceux de Y. Yao et al. (2022) sont des données statistiques et concernent l'attention.

Y. Yao et al. (2022) suggèrent à travers leurs résultats que les personnes ayant un niveau d'éducation plus élevé subissaient un déclin des fonctions cognitives moindre dû à l'impact de PM10, comparé à ceux ayant une éducation plus faible. Cependant, les scores de l'étude de Wood et al. (2024) ne semblent pas montrer de changement pertinent indiquant un potentiel effet modérateur de l'éducation sur l'association entre les PM10 et la mémoire.

PM2.5

Quatre études ont évalué l'impact des PM2.5 sur l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives (Salinas-Rodriguez et al., 2018; Shin et al., 2019; Wood et al., 2024; Y. Yao et al., 2022). Toutes ces études incluaient des mesures d'éducation, tandis qu'une d'entre elles évaluait également l'activité physique (Shin et al., 2019). Les résultats ont été interprétés à partir de données descriptives pour deux études (Salinas-Rodriguez et al., 2018; Wood et al., 2024) et de statistiques pour les deux autres (Shin et al., 2019; Y. Yao et al., 2022).

Shin et al. (2019) ont observé que les individus physiquement inactifs obtenaient des résultats inférieurs aux tests de mémoire de travail et de fonctions exécutives par rapport à ceux qui étaient physiquement actifs. Ces résultats s'appliquaient également au niveau d'éducation. Cependant, les trois autres études ont montré des résultats différents, selon lesquels l'éducation n'avait pas d'impact sur l'association entre les PM2.5 et l'attention, la mémoire de travail ou les fonctions exécutives. En effet, Wood et al. (2024) n'ont pas observé de différence notable entre les modèles brut et ajusté pour l'éducation. Yao et al. (2022) n'ont pas constaté de différences significatives liées aux niveaux d'éducation concernant l'impact des PM2.5 sur le déclin des fonctions attentionnelles. Et Salinas-Rodriguez et al. (2018) n'ont pas montré de

différence au niveau de l'éducation concernant l'association entre les PM2.5 et les mesures cognitives.

O3 et NO2

Vu la méthodologie utilisée, l'étude de Wood et al. (2024) est la seule ayant permis d'évaluer l'éducation sur l'association entre l'O3 et le NO2 et les fonctions exécutives. Cette analyse s'appuie sur des données descriptives comparant un modèle ajusté pour l'éducation. Les résultats montrent que l'inclusion de la variable d'éducation n'a entraîné aucun changement significatif dans les scores, suggérant que l'éducation n'exerce pas de rôle modérateur dans la relation entre l'O3, le NO2 et les fonctions exécutives.

4.3.3.3 Mémoire

PM10

L'association entre la mémoire et l'exposition aux PM10 a été mesurée par deux études dont le facteur de réserve pris en compte était l'éducation (Wood et al., 2024; Y. Yao et al., 2022). Les données qui ressortent de l'étude de Wood et al. (2024) sont des données descriptives tandis que celles de Y. Yao et al. (2022) sont statistiques.

Y. Yao et al. (2022) suggèrent à travers leurs résultats que les personnes ayant un niveau d'éducation plus élevé subissaient un déclin de la mémoire plus faible dû à l'impact de PM10 que ceux ayant une éducation moins élevée. Cependant, les scores de l'étude de Wood et al. (2024) ne semblent pas montrer de changement pertinent indiquant un potentiel effet modérateur de l'éducation sur l'association entre les PM10 et la mémoire.

PM2.5

Six études ont exploré l'association entre les PM2.5 et la mémoire (Cerin et al., 2021; Petkus et al., 2020; Salinas-Rodriguez et al., 2018; Shin et al., 2019; Wood et al., 2024; Y. Yao et al., 2022). Parmi les facteurs de réserve cognitive, l'éducation a été examinée dans cinq études (Petkus et al., 2020; Salinas-Rodriguez et al., 2018; Shin et al., 2019; Wood et al., 2024; Yao et al., 2022), tandis que l'activité physique a été considérée dans deux études (Cerin et al., 2021; Shin et al., 2019). Les résultats proviennent majoritairement d'analyses statistiques (Cerin et al., 2021; Petkus et al., 2020; Shin et al., 2019; Yao et al., 2022), tandis que deux études reposaient sur des données descriptives (Salinas-Rodriguez et al., 2018; Wood et al., 2024).

Pour le niveau d'éducation des participants comme facteur de réserve cognitive, la plupart des études (Petkus et al., 2020; Salinas-Rodriguez et al., 2018; Shin et al., 2019; Yao et al., 2022)

n'ont pas observé de modification significative de l'association entre les PM2.5 et la mémoire, que ce soit à travers des comparaisons de modèles, des ajustements ou des analyses entre différents niveaux d'éducation. Cependant, Shin et al. (2019) ont identifié une différence notable : une association négative entre les PM2.5 et la mémoire a été observée chez les participants ayant moins de 9 ans de scolarité, ce qui n'était pas le cas chez les individus plus éduqués.

En ce qui concerne l'influence de l'activité physique sur l'association entre les PM2.5 et la mémoire, les deux études disponibles concordent. Shin et al. (2019) ont révélé que l'inactivité physique était associée à des effets négatifs des PM2.5 sur la mémoire. De plus, Cerin et al. (2021) ont démontré que l'engagement dans la marche comme moyen de transport jouait un rôle de médiateur dans cette association entre la pollution de l'air et la mémoire.

O3

Seule l'étude de Wood et al. (2024) a permis d'examiner l'effet de l'éducation sur la relation entre l'O3 et la mémoire. L'analyse vient de données descriptives et de la comparaison d'un modèle ajusté pour l'éducation. Les résultats montrent que l'inclusion de la variable d'éducation n'a produit aucun changement notable dans les scores de mémoire, indiquant que l'éducation n'exerce potentiellement pas de rôle modérateur dans la relation entre l'O3 et la mémoire.

NO2

Deux études ont permis d'évaluer l'influence de la réserve cognitive sur l'association entre la mémoire et l'exposition au NO2 (Cerin et al., 2021; Wood et al., 2024). Les facteurs de réserve cognitive étaient respectivement l'activité physique et le niveau d'éducation. Des méthodologies distinctes ont été utilisées : analyses statistiques pour Cerin et al. (2021) et des données descriptives pour Wood et al. (2024).

L'étude de Wood et al. (2024) n'a révélé aucun changement significatif dans les scores de mémoire après ajustement pour le niveau d'éducation, suggérant que l'éducation n'a probablement pas de rôle modérateur dans l'association entre le NO2 et la mémoire. Cependant, Cerin et al. (2021) ont identifié un effet médiateur de l'activité physique, spécifiquement de la marche comme moyen de transport, sur cette relation. D'autres mesures d'activités physiques, tels que la fréquence et l'engagement de jardinage vigoureux, la fréquence et l'engagement à l'entraînement à la résistance ou encore la fréquence et l'engagement à la marche à des fins récréatives, ont été évalués, mais n'ont pas montré le même effet médiateur.

4.3.3.4 Vitesse de traitement et temps de réaction

PM2.5 et NO2

D'après l'étude de (Cerin et al., 2021), les PM2.5 n'auraient pas d'effet direct sur la vitesse de traitement. Cependant, l'engagement à la marche comme moyen transport serait un médiateur entre les PM2.5 et la vitesse de traitement, mais pas la fréquence. Ils relèvent un score de régression entre les PM2.5 et la marche comme moyen de transport de 1.114 (1.055, 1.175) ; entre la marche comme moyen de transport et vitesse de traitement de 0.944 (0.119, 1.769).

Pour le NO2, il y aurait un effet direct sur la vitesse de traitement avec comme score de régression 0.218 (0.032, 0.404). Comme les PM2.5, l'engagement à la marche comme moyen transport serait un médiateur entre le NO2 et la vitesse de traitement mais pas la fréquence, avec un score de régression entre le NO2 et la marche comme moyen de transport de 1.103 (1.048, 1.161), et entre la marche comme moyen de transport et la vitesse de traitement de 0.944 (0.119, 1.769).

Pour les deux polluants, aucun effet n'a été remarqué pour d'autres mesures d'exercice physique tels que la fréquence et l'engagement de jardinage vigoureux, la fréquence et l'engagement à l'entraînement à la résistance ou encore la fréquence et l'engagement à la marche comme loisir.

4.3.3.5 Mesures cérébrales

PM10 et NO2

Deux études ont cherché à évaluer le lien entre les mesures cérébrales et des mesures de pollution tels que les PM10 et le NO2 (Furlong et al., 2022; Gale et al., 2020). La première étude avait pour but d'examiner si l'activité physique modifiait l'association entre les mesures cérébrales et la pollution de l'air. Tandis que la seconde a fourni des résultats observationnels, en mettant en avant l'éducation comme facteur de réserve cognitive.

Concernant les PM10, Seule l'étude de Gale et al. (2020) trouve des résultats positifs, indiquant que l'éducation pourrait modérer l'association entre cette forme de pollution et les mesures cognitives. Pour le NO2, les deux études ont obtenu des résultats significatifs, indiquant que l'éducation joue un rôle modérateur dans l'association entre le NO2 et les indicateurs cérébraux, tout comme l'activité physique. Furlong et al. (2022) ont démontré que la participation à des activités physiques intenses pouvait atténuer les effets négatifs du NO2, bien que cet effet

bénéfique disparaisse lorsque les niveaux de NO₂ deviennent trop élevés, plus précisément concernant le volume d'hyperintensité de la substance blanche.

PM2.5

Le potentiel effet de facteur de la réserve cognitive sur l'association entre les mesures cérébrales et les PM_{2.5} a été exploré par trois études (Chen et al., 2015; Furlong et al., 2022; Gale et al., 2020). Deux de ces études ont évalué l'éducation comme facteur de réserve cognitive (Chen et al., 2015; Gale et al., 2020), tandis que l'activité physique a été prise en compte dans deux études également (Chen et al., 2015; Furlong et al., 2022). Les résultats ont été interprétés à partir d'analyses statistiques pour deux des études (Furlong et al., 2022; Gale et al., 2020) et par des données descriptives, reposant sur une comparaison de modèle brut/ajusté pour l'autre (Chen et al., 2015).

Gale et al. (2020) ont constaté que l'éducation semblait modérer l'association entre les PM_{2.5} et le volume préfrontal. À l'inverse, Chen et al. (2015) ont rapporté que, après ajustement pour l'éducation, les volumes cérébraux diminuaient, et ce phénomène s'appliquait également à l'activité physique. Ces résultats contrastent avec ceux de Furlong et al. (2022), qui ont montré que l'impact négatif des PM_{2.5} sur les volumes cérébraux diminuait, voire disparaissait, à mesure que l'intensité de l'activité physique augmentait.

5. Discussion

5.1 Rappel des objectifs et de la méthodologie

Ce mémoire vise à examiner un sujet d'actualité qui concerne l'ensemble de l'humanité et à explorer un thème encore peu étudié dans la littérature scientifique. L'objectif est de combler certaines lacunes scientifiques et de mettre en lumière des pistes de recherche inexplorées. La question centrale de ce travail est la suivante : "L'impact délétère de la pollution atmosphérique sur la cognition et le cerveau peut-il être atténué par la réserve cognitive ?"

Pour répondre à cette question, une recherche a été effectuée dans la littérature afin de lister les articles portant sur la cognition ou les mesures cérébrales en lien avec des polluants atmosphériques spécifiques (PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ et NO₂). Cette recherche a également pris en compte des facteurs de réserve cognitive tels que l'éducation, l'activité professionnelle, l'exercice physique, les loisirs et les interactions sociales.

Afin d'optimiser cette recherche, une analyse préliminaire des descripteurs utilisés dans des études antérieures sur ces thèmes a été effectuée. Le processus de sélection des articles pertinents a été effectué en éliminant les doublons provenant des deux bases de données utilisées (Medline et PsychINFO). Un premier tri a ensuite été réalisé sur la base des titres et des résumés, suivi d'une sélection finale après lecture complète des articles retenus. Au terme de ce processus, 36 articles ont été conservés pour l'analyse, permettant ainsi de répondre à la question de recherche posée.

5.2 Interprétation des résultats principaux

5.2.1 L'éducation

L'impact de l'éducation parentale sur la relation entre la pollution atmosphérique et la cognition dans l'enfance et l'adolescence suit un schéma positif. En effet, la littérature montre que la pollution atmosphérique impacte le QI dans l'enfance (Seifi et al., 2022) et que l'éducation parentale joue un rôle positif sur l'intelligence des enfants (Tamayo Martinez et al., 2022; Vista & Grantham, 2010). Après analyse des différents articles de ce mémoire, la direction de l'ensemble des articles penche en faveur d'un effet positif de l'éducation parentale sur la relation entre la pollution atmosphérique et le QI, ainsi que l'intelligence. Toutefois, aucune étude n'a inclus l'O3 dans ses analyses. Pour le NO2, les bienfaits semblent se limiter à l'éducation maternelle. Cette différence pourrait être expliquée par la différence d'impact que chacune peut avoir sur l'enfant. Il semblerait que l'éducation paternelle serait plus liée à l'intelligence pendant l'enfance alors que celle de la mère plus à l'intelligence en début de vie (Keage et al., 2016). Or, dans notre recherche, les études prenant en compte l'éducation paternelle se concentrent sur des enfants, et non sur des nouveau-nés. Des résultats contradictoires indiquent que c'est le niveau d'éducation maternelle qui serait une variable clé pour l'intelligence de l'enfant et non le niveau d'éducation paternelle (Edwards & Roff, 2010). Ainsi, il est possible que, face à des niveaux similaires de pollution, l'effet moins significatif du niveau d'éducation paternelle ne soit pas suffisant pour compenser les impacts négatifs de la pollution atmosphérique, contrairement à l'influence du niveau d'éducation maternelle.

Toujours dans l'enfance et l'adolescence, les résultats tendent à montrer que l'éducation ne joue pas un rôle modérateur dans la relation entre l'exposition aux PM2.5 et du NO2 et l'attention, la mémoire de travail, les fonctions exécutives mais aussi des mesures cérébrales. Une explication possible de ces résultats serait l'effet des PM2.5 et du NO2 serait suffisamment puissants pour annuler les effets modérateurs de l'éducation.

Une des raisons qui explique des résultats fortement similaires entre ces deux polluants peut venir du fait qu'ils sont hautement corrélés (Alvarez-Pedrerol et al., 2017; Dominguez et al., 2024). En effet, ces deux polluants coexistent souvent car ils partagent des sources communes, telles que le transport routier ou les activités industrielles. Cette corrélation élevée complique l'identification de leurs effets distincts sur la cognition et le cerveau.

Concernant la vitesse de traitement et le temps de réaction chez les enfants et adolescents, une seule étude est concernée par l'interaction et ne montre pas d'impact quelconque de l'éducation parentale sur l'impact des polluants sur la vitesse de traitement ou le temps de réaction (Pujol et al., 2016). L'éducation parentale est souvent utilisée comme un indicateur socio-économique de l'enfant, mais il se peut qu'elle ne reflète pas tous les aspects familiaux qui influence la cognition. Ce qui fait qu'elle pourrait ne pas capturer la complexité des interactions entre les performances cognitives et la pollution atmosphérique. Bien que les seuls résultats disponibles ne montrent pas de changement après inclusion de l'éducation parentale dans le modèle, il faut faire attention à ces résultats. D'autres études seraient importantes pour mieux comprendre la relation entre ces facteurs.

Concernant les résultats de l'éducation chez les adultes d'âge moyen à âgés, les résultats sont très mitigés, se contredisant l'un l'autre et n'aiguillant pas particulièrement dans une direction claire et précise. On observe cependant que les études ont une forte tendance à ne pas trouver de résultats pertinents pour la relation entre la mémoire et les PM2.5. Une des raisons possibles est qu'à partir d'un certain âge, l'impact de la pollution atmosphérique pourrait surpasser les bénéfices cognitifs acquis grâce à l'éducation. En effet, les effets délétères de la pollution peuvent devenir plus prononcés, affectant d'autres systèmes anatomiques tels que les systèmes cardiovasculaire et respiratoire. Cela est particulièrement pertinent car il a été montré que les personnes moins éduquées sont plus susceptibles de décéder des complications liées à la pollution, suggérant que la vulnérabilité à la pollution ne se limite pas à la cognition mais s'étend également à une atteinte physiologique (Kan et al., 2008).

5.2.2 L'activité physique

Lors de l'enfance et l'adolescence, une seule étude a évalué l'activité physique (X. Sun et al., 2023). Les résultats de l'étude montrent que les scores d'association entre les mesures de pollution (PM2.5, BC) et le temps d'activités extérieures sont différents. Les enfants faisant plus d'activités extérieures ont des scores plus élevés, signifiant qu'ils seraient moins impactés par les polluants. Cependant, les statistiques montrent que la différence entre ceux faisant plus

d'activités extérieures par rapport à ceux en faisant moins n'est pas statistiquement significative. Etant donné que c'est la seule étude réalisée chez l'enfant et que ces résultats ne sont pas comparables, il est difficile de déterminer une direction claire quant aux effets possibles de l'activité physique. Cela reste une piste importante à explorer car plusieurs études ont pu montrer les effets bénéfiques de l'activité physique sur des mesures cérébrales, sur l'apprentissage et de meilleures performances académiques (Erickson et al., 2015; Haapala, 2012; Sember et al., 2020).

Cependant, chez les personnes de 40 ans et plus, on remarque une tendance générale de l'activité physique comme ayant un effet positif sur la relation entre la pollution atmosphérique et la cognition au sens large. Ceci indiquerait que l'activité physique pourrait, chez la personne âgée, atténuer, voire renverser l'effet de la pollution atmosphérique. Il est essentiel d'examiner la faisabilité d'une application clinique, car il a été démontré que la probabilité de pratiquer une activité physique régulière diminue avec l'âge. De plus, cette tendance varie également entre les sexes, les femmes étant généralement moins susceptibles de maintenir une régularité dans leurs activités physiques par rapport aux hommes (F. Sun et al., 2013).

5.2.3 Les activités sociales

Les activités sociales font partie des points clés de la réserve cognitive, or il n'y a que deux études qui abordent le sujet (Jiang et al., 2024; L. Zhang et al., 2022). La première des deux études (Jiang et al., 2024) observe chez les personnes âgées un bienfait de l'activité sociale, où une participation active aux activités sociales permettait de réduire l'impact de la pollution sur la cognition générale. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Liu & Hu (2023), qui ont démontré, chez des participants présentant un déclin cognitif plus marqué, que l'adaptabilité sociale (englobant la participation sociale, l'apprentissage, l'adaptabilité, et le soutien social) exerce non seulement, sur les capacités cognitives des personnes âgées, un effet positif significatif, mais contribue également à une modération du déclin cognitif induit par la pollution.

Concernant la deuxième étude (L. Zhang et al., 2022), il y a également la constatation que l'activité sociale était positivement associée aux différentes mesures cognitives de l'étude. Cependant, lorsque le niveau d'engagement social était ajouté au modèle concernant la relation entre les facteurs environnementaux et la fonction cognitive, il n'y avait pas de changement, suggérant qu'il n'y a pas de médiation pour la relation entre les PM2.5 et la fonction cognitive.

5.2.4 Les loisirs

Du point de vue des loisirs, une seule étude a été retenue pour cette scoping review (Han & Jia, 2022). Cette recherche a examiné l'impact de la pollution atmosphérique sur la cognition, révélant que la pollution avait des effets négatifs sur la fonction cognitive, tandis que les loisirs semblaient exercer un effet bénéfique. Cependant, aucune analyse approfondie n'a été faite en combinant les effets de la pollution et des loisirs, ce qui limite la possibilité de tirer des conclusions robustes. Il est possible que les loisirs puissent modérer les effets délétères de la pollution sur la cognition, mais cela reste à démontrer de manière empirique.

Plusieurs études ont déjà montré les effets positifs des loisirs sur la cognition, sur le déclin cognitif et leur rôle comme facteur protecteur contre l'apparition de la démence (Mao et al., 2020; Song et al., 2022; H.-X. Wang et al., 2012). Les loisirs pourraient notamment influencer les effets de la pollution atmosphérique à travers des mécanismes tels que l'augmentation de la neuroplasticité (Smith et al., 2021). En favorisant ces processus, les loisirs pourraient atténuer les effets délétères de la pollution sur le cerveau. Plus précisément, ces mécanismes pourraient contrer les processus neurodégénératifs associés à la pollution, tels que le stress oxydatif et l'inflammation (Block et al., 2012; Block & Calderón-Garcidueñas, 2009; Genc et al., 2012; Heusinkveld et al., 2016). Un point intéressant à souligner est que Chang et al. (2019) ont montré que les effets de la pollution de l'air et de la dépression sur le bien-être d'une personne dépendent du type de loisirs qu'elle pratique, et ces effets ne peuvent être compris que lorsqu'on considère ces facteurs ensemble. Il est raisonnable de penser qu'une interaction similaire pourrait exister pour les mesures cognitives.

Le lien entre la pollution et les loisirs représente une lacune importante dans la littérature actuelle. Il serait pertinent d'analyser comment ces deux facteurs interagissent et quel impact ils pourraient avoir ensemble sur la cognition. De plus, il est important de comprendre les mécanismes par lesquels les loisirs pourraient atténuer les effets néfastes de la pollution atmosphérique sur le cerveau. Ceci permettrait d'informer la population sur les moyens d'agir contre les effets négatifs de la pollution atmosphérique. Dans les régions particulièrement affectées, comme l'Inde, promouvoir des loisirs cognitivement stimulants pourrait s'avérer une approche préventive efficace.

5.2.5 De jeunes adultes à 40 ans

Je préfère réaliser une partie à part pour parler de la tranche "Des jeunes adultes à 40 ans" car il n'y a que trois études qui sont comprises dont une qui revient en majorité. Au global, l'éducation semble modérer l'impact des PM10, des PM2.5 et de l'O3 sur les différentes fonctions cognitives. Tandis que l'activité physique et le statut professionnel n'ont pas l'air d'avoir d'impact sur la relation entre les PM10 et la cognition. Les résultats de cette partie sont très légers, et ne me permettent pas de faire de comparaison avec d'autres articles.

Il est intéressant de souligner que le rôle modérateur de l'éducation dans cette tranche d'âge, car ceci semble indiquer que les avantages cognitifs liés à un niveau éducatif plus élevé, notamment développé dans l'enfance, pourraient offrir une certaine protection contre les effets néfastes de divers polluants atmosphériques. Cette observation rejoint ce qui a été avancé concernant la réserve cognitive.

Concernant l'absence d'effet modérateur de l'activité physique et du statut professionnel, il est possible que ces facteurs n'agissent pas de façon assez puissante pour contrer les effets délétères des PM10 sur la cognition chez les jeunes adultes. Il se pourrait également que ces facteurs n'influencent pas sur la neuro-inflammation ou les stress oxydatif. Cependant, des études ont démontré que l'activité physique pouvaient effectivement jouer un rôle à ce niveau (Spielman et al., 2016; Svensson et al., 2015).

Le faible nombre de résultat dans cette tranche d'âge reflète également un manque plus général dans la littérature. Ceci vient sûrement de l'idée que les populations les plus vulnérables sont les jeunes et les personnes plus âgées. Bien que les jeunes soient potentiellement plus résistants sur le plan cognitif, ça ne signifie pas qu'ils sont protégés face aux effets néfastes environnementaux. De plus, au vu du faible nombre d'études, il est difficile de tirer des conclusions généralisables. Pour combler ce manque, il est donc essentiel d'encourager à étudier cette tranche d'âge spécifique.

5.3 Implications futures

La première conclusion que l'on peut tirer de ce mémoire est l'étendue des lacunes scientifiques dans ce domaine. L'annexe 4 présente l'ensemble des études identifiées selon les critères de recherche, tout en mettant en évidence les domaines où aucune littérature n'a été trouvée. Cette observation ouvre déjà la voie à de nombreuses implications futures et à des recherches potentiellement importantes. De plus, certains des résultats obtenus reposent sur une seule

étude, soulignant l'importance d'approfondir ces domaines. Par exemple, il n'y a aucune mesure de l'O3 pendant l'enfance prenant en compte des facteurs de réserve cognitive, or, il a été montré que l'exposition à long terme à ce polluant chez les jeunes adultes était associée à une moindre concentration (Wyatt et al., 2023). Ces résultats montrent que l'exposition pendant l'enfance peut influencer la cognition à long terme. Il serait donc pertinent d'étendre la recherche dans ce domaine pour informer et guider la population sur les comportements à adopter afin de mieux atténuer l'impact négatif de la pollution atmosphérique.

De manière similaire, les résultats se concentrent sur les facteurs de la réserve cognitive, mais aucune des études sélectionnées n'a explicitement utilisé cette notion. Des outils d'évaluation, tels que des questionnaires, ont pourtant été développés pour la mesurer (Nucci et al., 2012). Bien qu'il soit pertinent d'examiner chaque facteur de manière individuelle, l'étude de la réserve cognitive en tant que concept global demeure essentielle pour une meilleure compréhension du phénomène.

Dans ce mémoire, l'intérêt a été porté sur la pollution atmosphérique et plus précisément, les principaux polluants pouvant être dangereux et ayant un impact sur la qualité de l'air. C'est un premier pas vers une meilleure compréhension de ce qui nous attend dans le futur, mais la pollution est plus large que ça, elle n'est pas présente que dans l'air. On retrouve des polluants à l'intérieur des maisons (Vardoulakis et al., 2020), dans l'eau (Pooja et al., 2020) ou encore via les pesticides (Akash et al., 2022). Il serait donc pertinent, dans un second temps, de réaliser une *scoping review* sur d'autres formes de pollution pour obtenir une vue d'ensemble plus globale sur ce phénomène.

5.4 Limites

Une des limites de cette *scoping review* concerne la réalisation du mémoire en solitaire. Comme le recommande la méthodologie pour ce type d'étude (Pollock et al., 2023), il est préférable d'avoir deux examinateurs pour garantir une plus grande rigueur scientifique. Les contraintes de la réalisation du mémoire ne m'ont pas permis d'accéder à ce critère. Il est important de noter que cette absence représente une faiblesse méthodologique. Premièrement, la réalisation d'une *scoping review* en duo aurait permis de réduire les potentiels risques de biais subjectifs. La présence d'un second examinateur aurait non seulement permis de réduire les risques d'omissions ou de jugements erronés, mais aussi d'enrichir l'analyse en permettant une confrontation des points de vue. Cela aurait rendu l'étude plus robuste, en apportant un recul

critique plus approfondi et en renforçant la validité des décisions prises lors du processus de sélection.

Une seconde limite concerne le choix des descripteurs utilisés pour effectuer cette recherche. Bien que la décision d'inclure ces descripteurs bien précis a été prise pendant l'exploration de la littérature, il subsiste un risque que certains n'aient pas été inclus ou que ceux qui ont été sélectionnés n'aient pas été les plus appropriés. Il est important de souligner ce point car c'est un choix qui influence directement les résultats et qu'il n'y a aucune garantie que tous les articles pertinents aient été pris en compte. Par exemple, pour la réserve cognitive, la décision a été prise d'inclure cinq facteurs de la réserve cognitive (éducation, domaine professionnel, exercice physique, loisirs, interactions sociales), mais certaines études ont pu montrer d'autres composantes potentielles, telles que le bilinguisme (Bialystok, 2021), le sommeil (Balsamo et al., 2024) ou encore le travail à horaire décalé (Zhao, 2021).

L'utilisation des opérateurs booléens pourrait également être une de nos limites. Il a été choisi d'aborder trois thèmes. Ces thèmes ont été reliés par des ET, permettant de trouver des articles portant sur la cognition ET la pollution atmosphérique ET la réserve cognitive. En travaillant sur ce mémoire, j'ai pu constater qu'une partie des données pertinentes concernait la comparaison entre des modèles sous divers ajustements, permettant de voir si les facteurs de la réserve cognitive modéraient la relation étudiée dans les statistiques. Or, ces informations ne sont généralement pas explicitement mentionnées dans les titres ou les résumés, où seules les notions de pollution atmosphérique et de cognition sont présentes. Les mesures liées à la réserve cognitive se retrouvent souvent dans le texte intégral, compliquant leur identification préliminaire. Une des solutions possibles consisterait à enlever les descripteurs concernant la réserve cognitive afin d'obtenir une sélection plus large et davantage d'articles pertinents. Cependant, cela rendrait la recherche moins précise. Une autre possibilité serait de trouver une meilleure façon d'organiser les descripteurs avec les opérateurs booléens.

Il est important de noter que la période du COVID-19 a freiné, par exemple par ses conséquences sur l'utilisation des véhicules, les taux de pollutions atmosphériques. Pour illustrer, une étude menée à Turin, une des villes les plus polluées d'Europe, a observé une diminution de 70 % des niveaux de PM2.5 (Ravina et al., 2021). Étant donné que 26 études incluses dans cette revue sont parues entre le début de la pandémie et aujourd'hui, ce point semble être important à souligner. En effet, cette limitation de pollution extérieure ainsi que le fait d'être moins exposé à l'air extérieur durant cette période a pu influencer les résultats. Cela

pourrait donc avoir partiellement gommé des effets des polluants sur les variables étudiées. Par ailleurs, le confinement lié à la crise sanitaire a pu accentuer les inégalités sociales, en raison d'un accès inégal aux ressources, ce qui a pu affecter les variables cognitives et de réserve cognitive de manière indépendante de la pollution. Il en ressort que la pollution ainsi que des variables cognitives (et de réserve cognitive) peuvent être moins en lien à cette période que dans la vie normale hors pandémie. Les résultats de ces études, et de toutes celles dont les mesures ont été prises dans cette situation, doivent donc être interprétés avec prudence, ils ne permettent pas forcément de refléter la réalité "habituelle".

6. Conclusion

L'objectif de ce mémoire était de faire le point sur la littérature afin de savoir si la réserve cognitive et/ou les différents facteurs qui l'influencent (l'éducation, l'activité professionnelle, l'exercice physique, les loisirs et les interactions sociales) permettent de réduire l'impact négatif de la pollution atmosphérique sur les mesures cognitives et cérébrales de l'être humain. Grâce à la méthodologie suivie, nous avons pu extraire les données venant de 36 articles répondant à nos critères de sélection.

Les résultats nous ont montrés que pendant l'enfance et l'adolescence, c'est plutôt l'éducation parentale qui joue un rôle dans l'atténuation des effets négatifs de la pollution atmosphérique, et plus particulièrement sur l'intelligence et le QI des enfants. Concernant l'attention, la mémoire de travail et les fonctions exécutives, les études s'accordent à dire qu'il n'y a pas particulièrement d'effet de l'éducation parentale sur leurs interactions avec la pollution atmosphérique. Par contre, chez les personnes de plus de 40 ans, c'est plutôt l'activité physique qui va permettre d'atténuer l'impact de la pollution atmosphérique sur la cognition générale. Concernant les autres données, les résultats ne sont que trop peu nombreux pour pouvoir prétendre connaître une direction des articles, soulignant l'importance d'approfondir ce domaine d'étude et de remédier aux lacunes présentes.

7. Bibliographie

AEE (2024, 9 janvier). Europe's air quality status 2023.

<https://www.eea.europa.eu/publications/europes-air-quality-status-2023>

Akash, S., Sivaprakash, B., Rajamohan, N., Pandiyan, C. M., & Vo, D.-V. N. (2022). Pesticide pollutants in the environment – A critical review on remediation techniques, mechanism and toxicological impact. *Chemosphere*, *301*, 134754.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134754>

Alvarez-Pedrerol, M., Rivas, I., Lopez-Vicente, M., Suades-Gonzalez, E., Donaire-Gonzalez, D., Cirach, M., de Castro, M., Esnaola, M., Basagana, X., Dadvand, P., Nieuwenhuijsen, M., & Sunyer, J. (2017). Impact of commuting exposure to traffic-related air pollution on cognitive development in children walking to school. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, *231*(Pt 1), Article Pt 1. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.075>

Anatürk, M., Kaufmann, T., Cole, J. H., Suri, S., Griffanti, L., Zsoldos, E., Filippini, N., Singh-Manoux, A., Kivimäki, M., Westlye, L. T., Ebmeier, K. P., & De Lange, A. G. (2021). Prediction of brain age and cognitive age : Quantifying brain and cognitive maintenance in aging. *Human Brain Mapping*, *42*(6), 1626-1640. <https://doi.org/10.1002/hbm.25316>

Balsamo, F., Berretta, E., Meneo, D., Baglioni, C., & Gelfo, F. (2024). The Complex Relationship between Sleep and Cognitive Reserve : A Narrative Review Based on Human Studies. *Brain Sciences*, *14*(7), 654. <https://doi.org/10.3390/brainsci14070654>

Basagana, X., Esnaola, M., Rivas, I., Amato, F., Alvarez-Pedrerol, M., Forn, J., Lopez-Vicente, M., Pujol, J., Nieuwenhuijsen, M., Querol, X., & Sunyer, J. (2016). Neurodevelopmental Deceleration by Urban Fine Particles from Different Emission Sources : A Longitudinal Observational Study. *Environmental health perspectives*, *124*(10), Article 10. <https://doi.org/10.1289/EHP209>

- Bialystok, E. (2021). Bilingualism : Pathway to Cognitive Reserve. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(5), 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2021.02.003>
- Block, M. L., & Calderón-Garcidueñas, L. (2009). Air pollution : Mechanisms of neuroinflammation and CNS disease. *Trends in Neurosciences*, 32(9), 506-516. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2009.05.009>
- Block, M. L., Elder, A., Auten, R. L., Bilbo, S. D., Chen, H., Chen, J.-C., Cory-Slechta, D. A., Costa, D., Diaz-Sanchez, D., Dorman, D. C., Gold, D. R., Gray, K., Jeng, H. A., Kaufman, J. D., Kleinman, M. T., Kirshner, A., Lawler, C., Miller, D. S., Nadadur, S. S., ... Wright, R. J. (2012). The outdoor air pollution and brain health workshop. *NeuroToxicology*, 33(5), 972-984. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2012.08.014>
- Bos, I., De Boever, P., Vanparijs, J., Pattyn, N., Panis, L. I., & Meeusen, R. (2013). Subclinical effects of aerobic training in urban environment. *Medicine and science in sports and exercise*, 45(3), Article 3. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31827767fc>
- Calderon-Garciduenas, L., Chavez-Franco, D. A., Luevano-Castro, S. C., Macias-Escobedo, E., Hernandez-Castillo, A., Carlos-Hernandez, E., Franco-Ortiz, A., Castro-Romero, S. P., Cortes-Flores, M., Crespo-Cortes, C. N., Torres-Jardon, R., Stommel, E. W., Rajkumar, R. P., & Mukherjee, P. S. (2021). Metals, Nanoparticles, Particulate Matter, and Cognitive Decline. *Frontiers in neurology*, 12(101546899), Article 101546899. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.794071>
- Calderón-Garcidueñas, L., & Torres-Jardón, R. (2015). The Impact of Air Pollutants on the Brain. *JAMA Psychiatry*, 72(6), 529. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2015.0192>
- Casaleto, K. B., Rentería, M. A., Pa, J., Tom, S. E., Harrati, A., Armstrong, N. M., Rajan, K. B., Mungas, D., Walters, S., Kramer, J., & Zahodne, L. B. (2020). Late-Life Physical and Cognitive Activities Independently Contribute to Brain and Cognitive Resilience. *Journal of Alzheimer's Disease*, 74(1), 363-376. <https://doi.org/10.3233/JAD-191114>

- Casaletto, K. B., Staffaroni, A. M., Wolf, A., Appleby, B., Brushaber, D., Coppola, G., Dickerson, B., Domoto-Reilly, K., Elahi, F. M., Fields, J., Fong, J. C., Forsberg, L., Ghoshal, N., Graff-Radford, N., Grossman, M., Heuer, H. W., Hsiung, G. -Y., Huey, E. D., Irwin, D., ... the ARTFL/LEFFTDS Study. (2020). Active lifestyles moderate clinical outcomes in autosomal dominant frontotemporal degeneration. *Alzheimer's & Dementia*, *16*(1), 91-105.
<https://doi.org/10.1002/alz.12001>
- Cerin, E., Barnett, A., Shaw, J. E., Martino, E., Knibbs, L. D., Tham, R., Wheeler, A. J., & Anstey, K. J. (2021). From urban neighbourhood environments to cognitive health : A cross-sectional analysis of the role of physical activity and sedentary behaviours. *BMC public health*, *21*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-12375-3>
- Chen, J.-C., & Schwartz, J. (2009). Neurobehavioral effects of ambient air pollution on cognitive performance in US adults. *Neurotoxicology*, *30*(2), Article 2.
<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2008.12.011>
- Chen, J.-C., Wang, X., Wellenius, G. A., Serre, M. L., Driscoll, I., Casanova, R., McArdle, J. J., Manson, J. E., Chui, H. C., & Espeland, M. A. (2015). Ambient air pollution and neurotoxicity on brain structure : Evidence from women's health initiative memory study. *Annals of neurology*, *78*(3), Article 3. <https://doi.org/10.1002/ana.24460>
- Cheng, S.-T. (2016). Cognitive Reserve and the Prevention of Dementia : The Role of Physical and Cognitive Activities. *Current Psychiatry Reports*, *18*(9), 85. <https://doi.org/10.1007/s11920-016-0721-2>
- Clifford, A., Lang, L., Chen, R., Anstey, K. J., & Seaton, A. (2016). Exposure to air pollution and cognitive functioning across the life course – A systematic literature review. *Environmental Research*, *147*, 383-398. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.01.018>
- Delgado-Saborit, J. M., Guercio, V., Gowers, A. M., Shaddick, G., Fox, N. C., & Love, S. (2021). A critical review of the epidemiological evidence of effects of air pollution on dementia, cognitive

- function and cognitive decline in adult population. *Science of The Total Environment*, 757, 143734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143734>
- Dominguez, A., Koch, S., Marquez, S., de Castro, M., Urquiza, J., Evandt, J., Oftedal, B., Aasvang, G. M., Kampouri, M., Vafeiadi, M., Mon-Williams, M., Lewer, D., Lepeule, J., Andrusaityte, S., Vrijheid, M., Guxens, M., & Nieuwenhuijsen, M. (2024). Childhood exposure to outdoor air pollution in different microenvironments and cognitive and fine motor function in children from six European cohorts. *Environmental research*, 247(ei2, 0147621), Article ei2, 0147621. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118174>
- Edwards, R. D., & Roff, J. (2010). Negative Effects of Paternal Age on Children's Neurocognitive Outcomes Can Be Explained by Maternal Education and Number of Siblings. *PLoS ONE*, 5(9), e12157. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012157>
- Erickson, K. I., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2015). Physical activity, brain, and cognition. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 4, 27-32. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.01.005>
- Evans, I. E. M., Llewellyn, D. J., Matthews, F. E., Woods, R. T., Brayne, C., Clare, L., & on behalf of the CFAS-Wales research team. (2018). Social isolation, cognitive reserve, and cognition in healthy older people. *PLOS ONE*, 13(8), e0201008. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201008>
- Fagundes, L. S., Fleck, A. D. S., Zanchi, A. C., Saldiva, P. H. N., & Rhoden, C. R. (2015). Direct contact with particulate matter increases oxidative stress in different brain structures. *Inhalation Toxicology*, 27(10), 462-467. <https://doi.org/10.3109/08958378.2015.1060278>
- Furlong, M. A., Alexander, G. E., Klimentidis, Y. C., & Raichlen, D. A. (2022). Association of Air Pollution and Physical Activity With Brain Volumes. *Neurology*, 98(4), Article 4. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000013031>
- Gale, S. D., Erickson, L. D., Anderson, J. E., Brown, B. L., & Hedges, D. W. (2020). Association between exposure to air pollution and prefrontal cortical volume in adults : A cross-sectional study

- from the UK biobank. *Environmental research*, 185(ei2, 0147621), Article ei2, 0147621.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109365>
- Gan, W., Manning, K. J., Cleary, E. G., Fortinsky, R. H., & Brugge, D. (2023). Exposure to ultrafine particles and cognitive decline among older people in the United States. *Environmental research*, 227(ei2, 0147621), Article ei2, 0147621.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115768>
- Genc, S., Zadeoglulari, Z., Fuss, S. H., & Genc, K. (2012). The Adverse Effects of Air Pollution on the Nervous System. *Journal of Toxicology*, 2012, 1-23. <https://doi.org/10.1155/2012/782462>
- Haapala, E. (2012). Physical Activity, Academic Performance and Cognition in Children and Adolescents. A Systematic Review. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 4(1).
<https://doi.org/10.2478/v10131-012-0007-y>
- Han, L., & Jia, J. (2022). Alcohol consumption, poor lifestyle choices, and air pollution worsen cognitive function in seniors : A cohort study in China. *Environmental science and pollution research international*, 29(18), Article 18. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17891-8>
- Harris, M. H., Gold, D. R., Rifas-Shiman, S. L., Melly, S. J., Zanobetti, A., Coull, B. A., Schwartz, J. D., Gryparis, A., Kloog, I., Koutrakis, P., Bellinger, D. C., White, R. F., Sagiv, S. K., & Oken, E. (2015). Prenatal and Childhood Traffic-Related Pollution Exposure and Childhood Cognition in the Project Viva Cohort (Massachusetts, USA). *Environmental health perspectives*, 123(10), Article 10. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408803>
- Heusinkveld, H. J., Wahle, T., Campbell, A., Westerink, R. H. S., Tran, L., Johnston, H., Stone, V., Cassee, F. R., & Schins, R. P. F. (2016). Neurodegenerative and neurological disorders by small inhaled particles. *NeuroToxicology*, 56, 94-106. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.07.007>
- Hurtado-Diaz, M., Riojas-Rodriguez, H., Rothenberg, S. J., Schnaas-Arrieta, L., Kloog, I., Just, A., Hernandez-Bonilla, D., Wright, R. O., & Tellez-Rojo, M. M. (2021). Prenatal PM2.5 exposure and neurodevelopment at 2 years of age in a birth cohort from Mexico city. *International*

- journal of hygiene and environmental health*, 233(do6, 100898843), Article do6, 100898843.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113695>
- Ilango, S. D., Gonzalez, K., Gallo, L., Allison, M. A., Cai, J., Isasi, C. R., Hosgood, D. H., Vasquez, P. M., Zeng, D., Mortamais, M., Gonzalez, H., & Benmarhnia, T. (2021). Long-Term Exposure to Ambient Air Pollution and Cognitive Function Among Hispanic/Latino Adults in San Diego, California. *Journal of Alzheimer's disease : JAD*, 79(4), 1489-1496.
<https://doi.org/10.3233/JAD-200766>
- Jalaludin, B., Garden, F. L., Chrzanowska, A., Haryanto, B., Cowie, C. T., Lestari, F., Morgan, G., Mazumdar, S., Metcalf, K., & Marks, G. B. (2022). Associations Between Ambient Particulate Air Pollution and Cognitive Function in Indonesian Children Living in Forest Fire-Prone Provinces. *Asia-Pacific journal of public health*, 34(1), 96-105.
<https://doi.org/10.1177/10105395211031735>
- Jiang, Y., Wu, Y., Hu, Y., Li, S., Ren, L., Wang, J., Yu, M., Yang, R., Liu, Z., Zhang, N., Hu, K., Zhang, Y., Livingston, G., Zhang, J. J., Zeng, Y., Chen, H., & Yao, Y. (2024). Bi-directional association between outdoor or social activities and cognitive function : Do the PM2.5 exposure catalyze the detrimental inactivity-poor cognition cycle?. *Environmental research*, 252(Pt 1), Article Pt 1. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118868>
- Kan, H., London, S. J., Chen, G., Zhang, Y., Song, G., Zhao, N., Jiang, L., & Chen, B. (2008). Season, Sex, Age, and Education as Modifiers of the Effects of Outdoor Air Pollution on Daily Mortality in Shanghai, China : The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study. *Environmental Health Perspectives*, 116(9), 1183-1188. <https://doi.org/10.1289/ehp.10851>
- Keage, H. A. d., Muniz, G., Kurylowicz, L., Van Hooff, M., Clark, L., Searle, A. K., Sawyer, M. G., Baghurst, P., & Mcfarlane, A. (2016). Age 7 intelligence and paternal education appear best predictors of educational attainment : The Port Pirie Cohort Study. *Australian Journal of Psychology*, 68(1), 61-69. <https://doi.org/10.1111/ajpy.12083>

- Kujawski, S., Kujawska, A., Perkowski, R., Androsiuk-Perkowska, J., Hajec, W., Kwiatkowska, M., Skierkowska, N., Husejko, J., Bieniek, D., Newton, J. L., Morten, K. J., Zalewski, P., & Kędziora-Kornatowska, K. (2021). Cognitive Function Changes in Older People. Results of Second Wave of Cognition of Older People, Education, Recreational Activities, Nutrition, Comorbidities, and Functional Capacity Studies (COPERNICUS). *Frontiers in Aging Neuroscience, 13*, 653570. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.653570>
- Lee, J. J., Kim, J. H., Song, D. S., & Lee, K. (2022). Effect of Short- to Long-Term Exposure to Ambient Particulate Matter on Cognitive Function in a Cohort of Middle-Aged and Older Adults : KoGES. *International journal of environmental research and public health, 19*(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/ijerph19169913>
- León, I., García-García, J., & Roldán-Tapia, L. (2014). Estimating Cognitive Reserve in Healthy Adults Using the Cognitive Reserve Scale. *PLoS ONE, 9*(7), e102632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102632>
- Liu, J., Liu, R., Zhang, Y., Lao, X., Mandeville, K. L., Ma, X., & Di, Q. (2023). Leisure-time physical activity mitigated the cognitive effect of PM2.5 and PM2.5 components exposure : Evidence from a nationwide longitudinal study. *Environment international, 179*(du1, 7807270), Article du1, 7807270. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108143>
- Livingston, G., Sommerlad, A., Orgeta, V., Costafreda, S. G., Huntley, J., Ames, D., Ballard, C., Banerjee, S., Burns, A., Cohen-Mansfield, J., Cooper, C., Fox, N., Gitlin, L. N., Howard, R., Kales, H. C., Larson, E. B., Ritchie, K., Rockwood, K., Sampson, E. L., ... Mukadam, N. (2017). Dementia prevention, intervention, and care. *The Lancet, 390*(10113), 2673-2734. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31363-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31363-6)
- Loftus, C. T., Hazlehurst, M. F., Szpiro, A. A., Ni, Y., Tylavsky, F. A., Bush, N. R., Sathyanarayana, S., Carroll, K. N., Karr, C. J., & LeWinn, K. Z. (2019). Prenatal air pollution and childhood IQ: Preliminary evidence of effect modification by folate. *Environmental research, 176*(ei2, 0147621), Article ei2, 0147621. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.036>

- Ma, Y.-H., Chen, H.-S., Liu, C., Feng, Q.-S., Feng, L., Zhang, Y.-R., Hu, H., Dong, Q., Tan, L., Kan, H.-D., Zhang, C., Suckling, J., Zeng, Y., Chen, R.-J., & Yu, J.-T. (2022). Association of long-term exposure to ambient air pollution with cognitive decline and alzheimer's disease-related amyloidosis. *Biological Psychiatry*, No-Specified.
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2022.05.017>
- Mao, C., Li, Z.-H., Lv, Y.-B., Gao, X., Kraus, V. B., Zhou, J.-H., Wu, X.-B., Shi, W.-Y., Li, F.-R., Liu, S.-M., Yin, Z.-X., Zeng, Y., & Shi, X.-M. (2020). Specific Leisure Activities and Cognitive Functions Among the Oldest-Old : The Chinese Longitudinal Healthy Longevity Survey. *The Journals of Gerontology: Series A*, 75(4), 739-746. <https://doi.org/10.1093/gerona/glz086>
- Meng, X., & D'Arcy, C. (2012). Education and Dementia in the Context of the Cognitive Reserve Hypothesis : A Systematic Review with Meta-Analyses and Qualitative Analyses. *PLoS ONE*, 7(6), e38268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038268>
- Mitchell, M. B., Shaughnessy, L. W., Shirk, S. D., Yang, F. M., & Atri, A. (2012). Neuropsychological Test Performance and Cognitive Reserve in Healthy Aging and the Alzheimer's Disease Spectrum : A Theoretically Driven Factor Analysis. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 18(6), 1071-1080. <https://doi.org/10.1017/S1355617712000859>
- Molina-Sotomayor, E., Castillo-Quezada, H., Martinez-Salazar, C., Gonzalez-Orb, M., Espinoza-Salinas, A., & Gonzalez-Jurado, J. A. (2020). Effects of Progressive Resistance Training on Cognition and IGF-1 Levels in Elder Women Who Live in Areas with High Air Pollution. *International journal of environmental research and public health*, 17(17), Article 17.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17176203>
- Molina-Sotomayor, E., Gonzalez Orb, M., Pradas de la Fuente, F., Carozzi Figueroa, G., Sanchez-Oliver, A. J., & Gonzalez-Jurado, J. A. (2019). Effects of Cardiorespiratory Exercise on Cognition in Older Women Exposed to Air Pollution. *International journal of environmental research and public health*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020245>

- Mondini, S., Pucci, V., Pastore, M., Gaggi, O., Tricomi, P. P., & Nucci, M. (2023). s-CRIq : The online short version of the Cognitive Reserve Index Questionnaire. *Aging Clinical and Experimental Research*, 35(12), 2903-2910. <https://doi.org/10.1007/s40520-023-02561-1>
- Montemurro, S., Daini, R., Tagliabue, C., Guzzetti, S., Gualco, G., Mondini, S., & Arcara, G. (2023). Cognitive reserve estimated with a life experience questionnaire outperforms education in predicting performance on MoCA : Italian normative data. *Current Psychology*, 42(23), 19503-19517. <https://doi.org/10.1007/s12144-022-03062-6>
- Mortimer, J. A., Snowdon, D. A., & Markesbery, W. R. (2003). Head Circumference, Education and Risk of Dementia : Findings from the Nun Study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(5), 671-679. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.5.671.14584>
- Murata, C., Saito, T., Saito, M., & Kondo, K. (2019). The Association between Social Support and Incident Dementia : A 10-Year Follow-Up Study in Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(2), 239. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020239>
- Ni, Y., Loftus, C. T., Szpiro, A. A., Young, M. T., Hazlehurst, M. F., Murphy, L. E., Tylavsky, F. A., Mason, W. A., LeWinn, K. Z., Sathyanarayana, S., Barrett, E. S., Bush, N. R., & Karr, C. J. (2022). Associations of Pre- and Postnatal Air Pollution Exposures with Child Behavioral Problems and Cognitive Performance : A U.S. Multi-Cohort Study. *Environmental health perspectives*, 130(6), Article 6. <https://doi.org/10.1289/EHP10248>
- Oberdörster, G., Sharp, Z., Atudorei, V., Elder, A., Gelein, R., Kreyling, W., & Cox, C. (2004). Translocation of Inhaled Ultrafine Particles to the Brain. *Inhalation Toxicology*, 16(6-7), 437-445. <https://doi.org/10.1080/08958370490439597>
- Ogurtsova, K., Soppa, V. J., Weimar, C., Jockel, K.-H., Jokisch, M., & Hoffmann, B. (2023). Association of long-term air pollution and ambient noise with cognitive decline in the Heinz Nixdorf Recall study. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 331(Pt 1), Article Pt 1. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121898>

- Opdebeeck, C., Martyr, A., & Clare, L. (2016). Cognitive reserve and cognitive function in healthy older people : A meta-analysis. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 23(1), 40-60.
<https://doi.org/10.1080/13825585.2015.1041450>
- Orru, H., Ebi, K. L., & Forsberg, B. (2017). The Interplay of Climate Change and Air Pollution on Health. *Current Environmental Health Reports*, 4(4), 504-513. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0168-6>
- Peterson, B. S., Bansal, R., Sawardekar, S., Nati, C., Elgabalawy, E. R., Hoepner, L. A., Garcia, W., Hao, X., Margolis, A., Perera, F., & Rauh, V. (2022). Prenatal exposure to air pollution is associated with altered brain structure, function, and metabolism in childhood. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 63(11), Article 11.
<https://doi.org/10.1111/jcpp.13578>
- Petkus, A. J., Younan, D., Widaman, K., Gatz, M., Manson, J. E., Wang, X., Serre, M., Vizuete, W., Chui, H., Espeland, M. A., Resnick, S., & Chen, J.-C. (2020). Exposure to fine particulate matter and temporal dynamics of episodic memory and depressive symptoms in older women. *Environment international*, 135(du1, 7807270), Article du1, 7807270.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105196>
- Pollock, D., Peters, M. D. J., Khalil, H., McInerney, P., Alexander, L., Tricco, A. C., Evans, C., De Moraes, É. B., Godfrey, C. M., Pieper, D., Saran, A., Stern, C., & Munn, Z. (2023). Recommendations for the extraction, analysis, and presentation of results in scoping reviews. *JBI Evidence Synthesis*, 21(3), 520-532. <https://doi.org/10.11124/JBIES-22-00123>
- Pooja, D., Kumar, P., Singh, P., & Patil, S. (Éds.). (2020). *Sensors in Water Pollutants Monitoring : Role of Material*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0>
- Porta, D., Narduzzi, S., Badaloni, C., Bucci, S., Cesaroni, G., Colelli, V., Davoli, M., Sunyer, J., Zirro, E., Schwartz, J., & Forastiere, F. (2016). Air Pollution and Cognitive Development at Age 7 in a Prospective Italian Birth Cohort. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 27(2), Article 2.
<https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000405>

- Pujol, J., Martinez-Vilavella, G., Macia, D., Fenoll, R., Alvarez-Pedrerol, M., Rivas, I., Forns, J., Blanco-Hinojo, L., Capellades, J., Querol, X., Deus, J., & Sunyer, J. (2016). Traffic pollution exposure is associated with altered brain connectivity in school children. *NeuroImage*, *129*(cpp, 9215515), Article cpp, 9215515. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.01.036>
- Rafnsson, S. B., Orrell, M., d'Orsi, E., Hogervorst, E., & Steptoe, A. (2020). Loneliness, Social Integration, and Incident Dementia Over 6 Years : Prospective Findings From the English Longitudinal Study of Ageing. *The Journals of Gerontology: Series B*, *75*(1), 114-124. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbx087>
- Ravina, M., Esfandabadi, Z. S., Panepinto, D., & Zanetti, M. (2021). Traffic-induced atmospheric pollution during the COVID-19 lockdown : Dispersion modeling based on traffic flow monitoring in Turin, Italy. *Journal of Cleaner Production*, *317*, 128425. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128425>
- Richards, M., & Deary, I. J. (2005). A life course approach to cognitive reserve : A model for cognitive aging and development? *Annals of Neurology*, *58*(4), 617-622. <https://doi.org/10.1002/ana.20637>
- Robert-Bobee, I. (s. d.). *Projections de population 2005-2050 pour la France métropolitaine méthode et résultats*.
- Salinas-Rodriguez, A., Fernandez-Nino, J. A., Manrique-Espinoza, B., Moreno-Banda, G. L., Sosa-Ortiz, A. L., Qian, Z. M., & Lin, H. (2018). Exposure to ambient PM2.5 concentrations and cognitive function among older Mexican adults. *Environment international*, *117*(du1, 7807270), Article du1, 7807270. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.033>
- Sallis, J. F., & Saelens, B. E. (2000). Assessment of Physical Activity by Self-Report : Status, Limitations, and Future Directions. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *71*(sup2), 1-14. <https://doi.org/10.1080/02701367.2000.11082780>
- Scarmeas, N., & Stern, Y. (2003). Cognitive Reserve and Lifestyle. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *25*(5), 625-633. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.5.625.14576>

- Seifi, M., Yunesian, M., Naddafi, K., Nabizadeh, R., Dobaradaran, S., Ziyarati, M. T., Nazmara, S., Yekaninejad, M. S., & Mahvi, A. H. (2022). Exposure to ambient air pollution and socio-economic status on intelligence quotient among schoolchildren in a developing country. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(2), 2024-2034.
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-15827-w>
- Sember, V., Jurak, G., Kovač, M., Morrison, S. A., & Starc, G. (2020). Children's Physical Activity, Academic Performance, and Cognitive Functioning : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Public Health*, 8, 307. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00307>
- Shin, J., Han, S.-H., & Choi, J. (2019). Exposure to Ambient Air Pollution and Cognitive Impairment in Community-Dwelling Older Adults : The Korean Frailty and Aging Cohort Study. *International journal of environmental research and public health*, 16(19), Article 19.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16193767>
- Smith, A. E., Dumuid, D., Goldsworthy, M. R., Graetz, L., Hodyl, N., Thornton, N. L. R., & Ridding, M. C. (2021). Daily activities are associated with non-invasive measures of neuroplasticity in older adults. *Clinical Neurophysiology*, 132(4), 984-992.
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2021.01.016>
- Song, S., Stern, Y., & Gu, Y. (2022). Modifiable lifestyle factors and cognitive reserve : A systematic review of current evidence. *Ageing Research Reviews*, 74, 101551.
<https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101551>
- Spielman, L. J., Little, J. P., & Klegeris, A. (2016). Physical activity and exercise attenuate neuroinflammation in neurological diseases. *Brain Research Bulletin*, 125, 19-29.
<https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2016.03.012>
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8(3), 448-460.
<https://doi.org/10.1017/S1355617702813248>

- Stern, Y. (2003). The Concept of Cognitive Reserve : A Catalyst for Research. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(5), 589-593. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.5.589.14571>
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve☆. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004>
- Stern, Y., Alexander, G. E., Prohovnik, I., Stricks, L., Link, B., Lennon, M. C., & Mayeux, R. (1995a). Relationship between lifetime occupation and parietal flow : Implications for a reserve against Alzheimer's disease pathology. *Neurology*, 45(1), 55-60.
<https://doi.org/10.1212/WNL.45.1.55>
- Stern, Y., Alexander, G. E., Prohovnik, I., Stricks, L., Link, B., Lennon, M. C., & Mayeux, R. (1995b). Relationship between lifetime occupation and parietal flow : Implications for a reserve against Alzheimer's disease pathology. *Neurology*, 45(1), 55-60.
<https://doi.org/10.1212/WNL.45.1.55>
- Stern, Y., Arenaza-Urquijo, E. M., Bartrés-Faz, D., Belleville, S., Cantilon, M., Chetelat, G., Ewers, M., Franzmeier, N., Kempermann, G., Kremen, W. S., Okonkwo, O., Scarmeas, N., Soldan, A., Udeh-Momoh, C., Valenzuela, M., Vemuri, P., Vuoksimaa, E., & and the Reserve, Resilience and Protective Factors PIA Empirical Definitions and Conceptual Frameworks Workgroup. (2020). Whitepaper : Defining and investigating cognitive reserve, brain reserve, and brain maintenance. *Alzheimer's & Dementia*, 16(9), 1305-1311.
<https://doi.org/10.1016/j.jalz.2018.07.219>
- Stern, Y., Gurland, B., Tatemichi, T. K., & Wilder, D. (1994). *Influence of Education and Occupation on the Incidence of Alzheimer's Disease*.
- Suemoto, C. K., Bertola, L., Grinberg, L. T., Leite, R. E. P., Rodriguez, R. D., Santana, P. H., Pasqualucci, C. A., Jacob-Filho, W., & Nitrini, R. (2022). Education, but not occupation, is associated with cognitive impairment : The role of cognitive reserve in a sample from a low-to-middle-income country. *Alzheimer's & Dementia*, 18(11), 2079-2087.
<https://doi.org/10.1002/alz.12542>

- Sullivan, K. J., Ran, X., Wu, F., Chang, C.-C. H., Sharma, R., Jacobsen, E., Berman, S., Snitz, B. E., Sekikawa, A., Talbott, E. O., & Ganguli, M. (2021). Ambient fine particulate matter exposure and incident mild cognitive impairment and dementia. *Journal of the American Geriatrics Society*, 69(8), Article 8. <https://doi.org/10.1111/jgs.17188>
- Sun, F., Norman, I. J., & While, A. E. (2013). Physical activity in older people : A systematic review. *BMC Public Health*, 13(1), 449. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-449>
- Sun, X., Liu, C., Ji, H., Li, W., Miao, M., Yuan, W., Yuan, Z., Liang, H., & Kan, H. (2023). Prenatal exposure to ambient PM2.5 and its chemical constituents and child intelligence quotient at 6 years of age. *Ecotoxicology and environmental safety*, 255(edk, 7805381), Article edk, 7805381. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114813>
- Sunyer, J., Esnaola, M., Alvarez-Pedrerol, M., Forn, J., Rivas, I., Lopez-Vicente, M., Suades-Gonzalez, E., Foraster, M., Garcia-Esteban, R., Basagana, X., Viana, M., Cirach, M., Moreno, T., Alastuey, A., Sebastian-Galles, N., Nieuwenhuijsen, M., & Querol, X. (2015). Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children : A prospective cohort study. *PLoS medicine*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001792>
- Sunyer, J., Suades-Gonzalez, E., Garcia-Esteban, R., Rivas, I., Pujol, J., Alvarez-Pedrerol, M., Forn, J., Querol, X., & Basagana, X. (2017). Traffic-related Air Pollution and Attention in Primary School Children : Short-term Association. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 28(2), Article 2. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000603>
- Svensson, M., Lexell, J., & Deierborg, T. (2015). Effects of Physical Exercise on Neuroinflammation, Neuroplasticity, Neurodegeneration, and Behavior : What We Can Learn From Animal Models in Clinical Settings. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 29(6), 577-589. <https://doi.org/10.1177/1545968314562108>
- Tamayo Martinez, N., Xerxa, Y., Law, J., Serdarevic, F., Jansen, P. W., & Tiemeier, H. (2022). Double advantage of parental education for child educational achievement : The role of parenting

- and child intelligence. *European Journal of Public Health*, 32(5), 690-695.
<https://doi.org/10.1093/eurpub/ckac044>
- Thompson, R., Smith, R. B., Karim, Y. B., Shen, C., Drummond, K., Teng, C., & Toledano, M. B. (2023). Air pollution and human cognition : A systematic review and meta-analysis. *The Science of the total environment*, 859(Pt 2), Article Pt 2.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160234>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garritty, C., ... Straus, S. E. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) : Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467-473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Van Dijk, K. R. A., Van Gerven, P. W. M., Van Boxtel, M. P. J., Van Der Elst, W., & Jolles, J. (2008). No protective effects of education during normal cognitive aging : Results from the 6-year follow-up of the Maastricht Aging Study. *Psychology and Aging*, 23(1), 119-130.
<https://doi.org/10.1037/0882-7974.23.1.119>
- Vardoulakis, S., Giagloglou, E., Steinle, S., Davis, A., Smeuwenhoek, A., Galea, K. S., Dixon, K., & Crawford, J. O. (2020). Indoor Exposure to Selected Air Pollutants in the Home Environment : A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 8972. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238972>
- Vista, A. D., & Grantham, T. C. (2010). Effects of Parental Education Level on Fluid Intelligence of Philippine Public School Students. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 28(3), 236-248.
<https://doi.org/10.1177/0734282909344416>
- Wang, H.-X., Xu, W., & Pei, J.-J. (2012). Leisure activities, cognition and dementia. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*, 1822(3), 482-491.
<https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2011.09.002>

- Wang, X., Younan, D., Petkus, A. J., Beavers, D. P., Espeland, M. A., Chui, H. C., Resnick, S. M., Gatz, M., Kaufman, J. D., Wellenius, G. A., Whitsel, E. A., Manson, J. E., & Chen, J.-C. (2021). Ambient Air Pollution and Long-Term Trajectories of Episodic Memory Decline among Older Women in the WHIMS-ECHO Cohort. *Environmental health perspectives*, *129*(9), 97009. <https://doi.org/10.1289/EHP7668>
- Weuve J, Bennett EE, Ranker L, Gianattasio KZ, Pedde M, Adar SD, Yanosky JD, Power MC. Exposure to Air Pollution in Relation to Risk of Dementia and Related Outcomes: An Updated Systematic Review of the Epidemiological Literature. *Environ Health Perspect*. 2021 Sep;129(9):96001. doi: 10.1289/EHP8716. Epub 2021 Sep 24. PMID: 34558969; PMCID: PMC8462495.
- Wilson, R. S., Yu, L., Lamar, M., Schneider, J. A., Boyle, P. A., & Bennett, D. A. (2019). Education and cognitive reserve in old age. *Neurology*, *92*(10), e1041-e1050. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000007036>
- Wood, D., Evangelopoulos, D., Beevers, S., Kitwiroon, N., Demakakos, P., & Katsouyanni, K. (2024). Exposure to ambient air pollution and cognitive function : An analysis of the English Longitudinal Study of Ageing cohort. *Environmental health : a global access science source*, *23*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s12940-024-01075-1>
- Wyatt, L. H., Cleland, S. E., Wei, L., Paul, N., Patil, A., Ward-Caviness, C., Henderson, S. B., & Rappold, A. G. (2023). Long-term exposure to ambient O₃ and PM_{2.5} is associated with reduced cognitive performance in young adults : A retrospective longitudinal repeated measures study in adults aged 18-90 years. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, *320*(dvl, 8804476), Article dvl, 8804476. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121085>
- Xu, Z., Liu, Z., Lu, L., Liao, W., Yang, C., Duan, Z., Zhou, Q., He, W., Zhang, E., Li, N., & Ju, K. (2022). Assessing the causal effects of long-term exposure to PM_{2.5} during pregnancy on cognitive function in the adolescence : Evidence from a nationwide cohort in China. *Environmental Pollution*, *293*, 118560. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118560>

- Yao, T., Sweeney, E., Nagorski, J., Shulman, J. M., & Allen, G. I. (2020). Quantifying cognitive resilience in Alzheimer's Disease : The Alzheimer's Disease Cognitive Resilience Score. *PLOS ONE*, 15(11), e0241707. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241707>
- Yao, Y., Wang, K., & Xiang, H. (2022). Association between cognitive function and ambient particulate matters in middle-aged and elderly Chinese adults : Evidence from the China Health and Retirement Longitudinal Study (CHARLS). *The Science of the total environment*, 828(uj0, 0330500), Article uj0, 0330500. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154297>
- Yasuno, F., Minami, H., Hattori, H., & for the Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative. (2020). Interaction effect of Alzheimer's disease pathology and education, occupation, and socioeconomic status as a proxy for cognitive reserve on cognitive performance : *In vivo* positron emission tomography study. *Psychogeriatrics*, 20(5), 585-593. <https://doi.org/10.1111/psyg.12552>
- Younan, D., Wang, X., Millstein, J., Petkus, A. J., Beavers, D. P., Espeland, M. A., Chui, H. C., Resnick, S. M., Gatz, M., Kaufman, J. D., Wellenius, G. A., Whitsel, E. A., Manson, J. E., Rapp, S. R., & Chen, J.-C. (2022). Air quality improvement and cognitive decline in community-dwelling older women in the United States : A longitudinal cohort study. *PLoS medicine*, 19(2), Article 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003893>
- Zare Sakhvidi, M. J., Yang, J., Lequy, E., Chen, J., De Hoogh, K., Letellier, N., Mortamais, M., Ozguler, A., Vienneau, D., Zins, M., Goldberg, M., Berr, C., & Jacquemin, B. (2022). Outdoor air pollution exposure and cognitive performance : Findings from the enrolment phase of the CONSTANCES cohort. *The Lancet Planetary Health*, 6(3), e219-e229. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00001-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00001-8)
- Zhang, L., Luo, Y., Zhang, Y., Pan, X., Zhao, D., & Wang, Q. (2022). Green Space, Air Pollution, Weather, and Cognitive Function in Middle and Old Age in China. *Frontiers in public health*, 10(101616579), Article 101616579. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.871104>

- Zhang, X., Liu, S. H., Geron, M., Mathilda Chiu, Y.-H., Gershon, R., Ho, E., Huddleston, K., Just, A. C., Kloog, I., Coull, B. A., Enlow, M. B., Wright, R. O., & Wright, R. J. (2022). Prenatal exposure to PM2.5 and childhood cognition : Accounting for between-site heterogeneity in a pooled analysis of ECHO cohorts in the Northeastern United States. *Environmental research*, 214(Pt 4), Article Pt 4. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114163>
- Zhang, Y., Ke, L., Fu, Y., Di, Q., & Ma, X. (2022). Physical activity attenuates negative effects of short-term exposure to ambient air pollution on cognitive function. *Environment international*, 160(du1, 7807270), Article du1, 7807270. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107070>
- Zhao, X.-C. (2021). Effects of shift work on sleep and cognitive function among male miners. *Psychiatry Research*.
- Zunzunegui, M.-V., Alvarado, B. E., Del Ser, T., & Otero, A. (2003). Social Networks, Social Integration, and Social Engagement Determine Cognitive Decline in Community-Dwelling Spanish Older Adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 58(2), S93-S100. <https://doi.org/10.1093/geronb/58.2.S93>

8. Annexe

Annexe 1

Ovid MEDLINE(R) ALL <1946 to May 07, 2024>

- 1 exp Air Pollution/ 72932
- 2 exp Air Pollutants/ 115539
- 3 exp Soot/ 2219
- 4 exp Nitrogen Dioxide/ 7236
- 5 exp Ozone/ 18272
- 6 exp Vehicle Emissions/ 12131
- 7 exp Particulate Matter/82628
- 8 (Air adj2 (pollut* or quality or ambient)).ti,ab. 64018
- 9 (atmospher* adj2 pollut*).ti,ab. 4029
- 10 (Particulate matter or ambient particulate or ultrafine particulate* or ultrafine particle* or UFP).ti,ab. 30774
- 11 (Coarse particle* or Soot or Black smoke or Black carbon or Elemental carbon or wood smoke).ti,ab. 9603
- 12 (Nitrogen dioxide or nitrogen oxide or NOx or NO2 or nitric oxide).ti,ab. 200061
- 13 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 or 8 or 9 or 10 or 11 or 12 413375
- 14 exp Cognition/ 207706
- 15 exp Cognitive Dysfunction/ 40586
- 16 exp Brain/ 1354784
- 17 exp Cerebral Cortex/ 405172
- 18 exp Gray Matter/ 7147
- 19 exp White Matter/ 13962
- 20 exp Attention/ 88011
- 21 exp Memory, Long-Term/ or exp Memory/ or exp Memory, Short-Term/ 156769

22 exp Executive Function/ 20410

23 exp Learning/ 447848

24 exp Reaction Time/ 105201

25 exp Processing Speed/ 136

26 cognit*.ti,ab. 546814

27 ((react* adj2 (time or speed)) or (process* adj2 (time or speed))).ti,ab. 74541

28 neurobiologic*.ti,ab. 26122

29 mental*.ti,ab. 495507

30 MRI.ti,ab. 325012

31 fMRI.ti,ab. 52238

32 14 or 15 or 16 or 17 or 18 or 19 or 20 or 21 or 22 or 23 or 24 or 25 or 26 or 27 or 28 or 29 or
30 or 31 2890192

33 exp Cognitive Reserve/ 1025

34 exp Intelligence/ 133413

35 exp Healthy Lifestyle/ or exp Life Style/ 113430

36 exp Sedentary Behavior/ 14142

37 exp Vocabulary/ 11671

38 exp Education/ 917171

39 exp Literacy/ 1845

40 exp Occupations/ 37072

41 exp Exercise/ 256405

42 exp Leisure Activities/ 284199

43 exp Social Participation/ 3637

44 lifestyle*.ti,ab. 143388

45 life style*.ti,ab. 12926

46 exercise*.ti,ab. 364823

47 physical activit*.ti,ab. 157845

48 physical inactivit*.ti,ab. 10976

49 leisure activit*.ti,ab. 4789
50 cognitive activit*.ti,ab. 2009
51 education.ti,ab.600939
52 vocab*.ti,ab. 14216
53 job.ti,ab. 70034
54 profession.ti,ab. 47328
55 occupation.ti,ab. 39681
56 intel*.ti,ab. 166112
57 school*.ti,ab. 357302
58 iq.ti,ab. 24859
59 CR.ti,ab. 112524
60 33 or 34 or 35 or 36 or 37 or 38 or 39 or 40 or 41 or 42 or 43 or 44 or 45 or 46 or 47 or 48 or
49 or 50 or 51 or 52 or 53 or 54 or 55 or 56 or 57 or 58 or 59 2727956
61 13 and 32 and 60 1404

Annexe 2

APA PsycInfo <1806 to May Week 2 2024>

- 1 exp Pollution/ 2227
- 2 (Air adj2 (pollut* or quality or ambient)).ti,ab. 2055
- 3 (atmospher* adj2 pollut*).ti,ab. 39
- 4 (Particulate matter or ambient particulate or ultrafine particulate* or ultrafine particle* or UFP).ti,ab. 579
- 5 (Coarse particle* or Soot or Black smoke or Black carbon or Elemental carbon or wood smoke).ti,ab. 80
- 6 ozone.mp,ti,ab. 333
- 7 (Nitrogen dioxide or nitrogen oxide or NOx or NO2 or nitric oxide).ti,ab. 6380
- 8 1 or 2 or 3 or 4 or 5 or 6 or 7 9825
- 9 exp Cognition/ 45021
- 10 exp Cognitive Impairment/ 46390
- 11 exp Attention/ 84143
- 12 exp Long Term Memory/ or exp Memory/ or exp Short Term Memory/ 144183
- 13 exp Executive Function/ 25754
- 14 exp Learning/ 336776
- 15 exp Reaction Time/ 21839
- 16 exp Cognitive Processing Speed/ 3429
- 17 exp Brain/ 303669
- 18 exp Cerebral Cortex/ 165247
- 19 exp Gray Matter/ 6447
- 20 exp White Matter/ 11935
- 21 ((react* adj2 (time or speed)) or (process* adj2 (time or speed))).ti,ab. 38375
- 22 (intell* or IQ or intelligence quotient or reasoning).ti,ab. 220848
- 23 cognit*.ti,ab. 554814
- 24 neurobiologic*.ti,ab. 23432

25 mental*.ti,ab. 502842

26 MRI.ti,ab. 40256

27 fMRI.ti,ab. 34209

28 9 or 10 or 11 or 12 or 13 or 14 or 15 or 16 or 17 or 18 or 19 or 20 or 21 or 22 or 23 or 24 or 25
or 26 or 27 1780065

29 exp Cognitive Reserve/ 798

30 exp Intelligence/ 43388

31 exp Health Behavior/ or exp Physical Activity/ or exp Lifestyle/ or exp Exercise/
107756

32 exp Sedentary Behavior/ 2792

33 exp Vocabulary/ 13424

34 exp Education/ 509196

35 exp Literacy/ 24063

36 exp Occupations/ 75124

37 exp Exercise/ 33650

38 exp Recreation/ or exp Leisure Time/ 115864

39 exp Social Interaction/ 830037

40 lifestyle*.ti,ab. 35912

41 life style*.ti,ab. 3804

42 exercise*.ti,ab. 77702

43 physical activit*.ti,ab. 45393

44 physical inactivit*.ti,ab.2653

45 leisure activit*.ti,ab. 4517

46 cognitive activit*.ti,ab. 2784

47 education.ti,ab. 412444

48 vocab*.ti,ab. 26642

49 job.ti,ab. 92201

50 profession.ti,ab.33242

51 occupation.ti,ab. 16352

52 intel*.ti,ab. 164978
53 school*.ti,ab. 451308
54 iq.ti,ab. 29549
55 CR.ti,ab. 7182
56 29 or 30 or 31 or 32 or 33 or 34 or 35 or 36 or 37 or 38 or 39 or 40 or 41 or 42 or 43 or 44 or
45 or 46 or 47 or 48 or 49 or 50 or 51 or 52 or 53 or 54 or 55 2063985
57 8 and 28 and 56 323

Annexe 3

Auteurs et années de publication	Caractéristique de l'échantillon : n, âge, genre, localisation	Polluants	Fonctions cognitives / Mesures cérébrales	Mesure de réserve cognitive	Résultats globaux	Observationnel ou statistique
(Alvarez-Pedrerol et al., 2017)	N = 1234, 7-10 ans (8.5 ± 0.9), 50 % de filles, Espagne	Concentration moyenne des PM2.5, du BC et de l'NO2 sur le trajet scolaire	N-back, Attention Network Test (ANT) <i>Mémoire de travail, Attention</i>	Education maternelle : faible vs élevée	Pour les scores stratifiés par l'éducation maternelle, les personnes avec une plus haute éducation maternelle avaient, à même exposition aux PM2.5, de meilleurs scores en mémoire de travail et de plus hauts scores d'inattention. Pour le NO2, de meilleurs scores en mémoire de travail et moins d'inattention. Mais pour le BC, de moins bons résultats en mémoire de travail et plus d'inattention. Cependant, les résultats n'étaient pas statistiquement significatifs.	Statistique
(Basagana et al., 2016)	N = 2618, 7-10 ans (8.5), 49.7 % de filles, Espagne	Taux de PM2.5 pris pendant deux périodes d'une semaine séparées de 6 mois	Attention Network Test (ANT) <i>Mémoire de travail, Attention</i>	Education maternelle	Les modèles ajustés modifiaient les scores. Les scores augmentaient après ajustement pour le sulfate organique et secondaire, pour le nitrate secondaire et pour la métallurgie dans la mémoire de travail. Pour la mémoire de travail supérieur, il y avait une augmentation pour le sulfate organique	Observationnelle

					et secondaire, pour le nitrate secondaire et les embruns marins. Et pour l'inattention, les minerais, le trafic, le textile/organique/craie, les poussières routières, les embruns marins. Les autres scores diminuaient.	
(Caldero n- Garcidue nas et al., 2021)	N = 336, 29.2 ± 13.3 ans, Mexique	Taux de PM2.5 sur 24h et sur la moyenne annuelle de 2019 pour la ville métropolitaine de Mexico, pour Veracruz et Hermosillo.	Montreal Cognitive Assessment (MoCA) <i>Cognition global</i>	Nombre d'années d'éducation formelle.	Un impact positif de l'éducation sur le score à la MoCA est ressorti dans les trois villes ($p < .0001$).	Statistique
(Cerin et al., 2021)	N = 4141, 34-97 ans (61 ± 11), 55.2 % de femmes, Australie	Taux de moyenne annuelle de NO2 et de PM2.5 à l'adresse résidentielle	California Verbal Learning Test (CVLT), Symbol-Digit Modalities Test (SDMT)	Activité physique via : l'engagement et la fréquence à la marche pour le transport, l'engagement et la fréquence à la marche comme loisir, l'engagement et la fréquence du jardinage vigoureux,	L'engagement à la marche comme moyen de transport était un médiateur entre les mesures de pollution (PM2.5 et NO2) et les scores cognitifs (mémoire et vitesse de traitement). Les résultats pour les autres facteurs d'activités physique n'étaient pas statistiquement significatifs.	Statistique

			<i>Mémoire, Vitesse de traitement</i>	l'engagement et la fréquence à l'entraînement à la résistance.		
(Chen & Schwartz, 2009)	N = 1764, 20-59 ans (37.4 ± 10.9), 50 % de femmes, Etats-Unis	Exposition résidentielle annuelle aux PM10 et à l'O3 lors de la participation	Simple reaction time test (SRTT), Symbol digit substitution test (SDST), Serial digit learning test (SDLT) <i>Temps de réaction, Attention, Mémoire à court terme</i>	Education divisée en tranche d'âge (20–29, 30–39, 40–49, 50–59 ans) Exercice physique : fréquence de la pratique du jogging, de la course à pied et d'exercices aérobiques <i>Statut professionnel</i>	Potentiel effet modérateur de l'éducation entre les PM10 et les scores au SRTT, SDST et SDLT. Il y a un potentiel effet modérateur de l'éducation, de la situation de l'emploi et de l'activité physique entre l'O3 et les scores au SRTT, SDST et SDLT. Excepté pour le score au « Trials to criterion » du SDLT où seules l'éducation et la situation de l'emploi pourraient avoir un rôle modérateur.	Observationnelle
(Chen et al., 2015)	N = 1403, 71-89 ans, 100 % de femmes, Etats-Unis	Exposition annuelle de PM2.5 à l'adresse résidentielle de 1999 à 2006.	Volume de matière grise et de matière blanche <i>Mesures cérébrales</i>	Education Activité physique : pas d'activité, un peu d'activité, 2-4 fois semaine, plus de 4 fois semaine	Après ajustement pour, notamment, l'éducation et l'activité physique, le volume de matière blanche frontale, pariétale, temporale et totale diminue. Tandis que le score du corps calleux reste inchangé.	Observationnelle

(Dominguez et al., 2024)	N = 1301, 6-11 ans, 45% de filles, Angleterre, France, Espagne, Lituanie, Norvège, Grèce	Taux de PM2.5 et de NO2 au domicile, à l'école et sur le trajet entre les deux.	Attention Network Test (ANT), Trail Making Test A et B (TMT), Raven Colored Progressive matrices Test (CPM) <i>Attention, fonction exécutive, intelligence</i>	Education parentale : faible, moyenne, élevée	Il y a un potentiel effet modérateur de l'éducation entre les polluants et l'intelligence verbale et l'attention. Mais il y a peu de chance que ce soit le cas pour la fonction exécutive.	Observationnel
(Furlong et al., 2022)	N = 8600, 40 - 69 ans (55.55 ± 7.46), 55.26 % de femmes, Angleterre	Niveau annuel de PM10, de PM2.5 et de NO2 pour l'année 2010	Volume de matière blanche, de matière grise et d'hyperintensité de matière blanche <i>Mesures cérébrales</i>	Activité physique : accéléromètre pour mesurer l'activité physique vigoureuse.	Plus les participants faisaient d'activités vigoureuses, plus l'impact négatif de la pollution sur le volume de matière grise, blanche et les hyperintensités de la matière blanche est atténué. Il est même généralement inversé, excepté pour le volume de matière où c'est seulement après plus de 30 minutes d'activités que les effets bénéfiques ressortaient. L'effet bénéfique de l'activité physique sur le volume d'hyperintensité de la substance blanche est neutralisé chez les participants exposés à de plus haut taux de NO2.	Statistique

(Gale et al., 2020)	N = 18288, 44 - 80 ans (62.15 ± 7.44), 52 % de femmes, Angleterre	Taux de PM10, de PM2.5 et de NO2 annuels à l'adresse résidentielle.	Pôle frontal gauche et droit, gyrus frontal supérieur gauche et droit, cortex frontal médial gauche et droit, cortex orbitofrontal gauche et droit, et opercule frontal gauche et droit. <i>Mesures cérébrales</i>	Education : obtention d'un diplôme d'études supérieures, moins qu'un diplôme d'études supérieures	L'éducation semble modérer l'association entre la pollution de l'air et le volume préfrontal.	Statistique
(Han & Jia, 2022)	N = 40583, 65 - 115 ans (86.64 ± 11.34), 58.04% de femmes, Chine	Taux de PM2.5 de 2000 à 2018.	Mini-mental State Examination (MMSE) <i>Cognition générale</i>	Niveau d'étude : nombre d'années d'études Activité : souvent, occasionnellement, rarement	La concentration de PM2.5 a un impact plus important sur la cognition que le niveau d'éducation. De plus, une participation active à des activités et faire de l'activité physique depuis plus longtemps avaient également des effets positifs sur la cognition.	Statistique
(Harris et al., 2015)	N = 1109, 6.6 – 10.9 ans (8.0 ± 0.8), 50 %	Estimation du taux de BC et de PM2.5 aux adresses	Kaufman Brief Intelligence Test (KBIT-2), Wide Range	Education parentale : diplôme de l'enseignement supérieur ou plus,	Il se peut que l'éducation parentale ait un effet modérateur entre les mesures de pollution et le QI verbal et non verbal. Il y a très peu de chance qu'il y ait un effet	Observationnelle

	de filles, Etats-Unis	résidentielles pour le troisième trimestre de grossesse, de la naissance à 6 ans et l'année précédant les tests cognitifs.	Assessment of Memory and Learning (WRAML2) <i>Intelligence, Mémoire</i>	moins qu'un diplôme de l'enseignement supérieur.	modérateur entre les mesures de pollution et la mémoire des images et la mémoire de conception.	
(Hurtado-Diaz et al., 2021)	N = 740, 0.5 – 2 ans, Mexique	Taux de PM2.5 journalier moyen calculé pour toute la gestation et chaque trimestre de grossesse.	Bayley Scales of Infant Development, Third edition (BSID-III) <i>Cognition générale</i>	Education maternelle : nombre d'années d'études	Lorsque les facteurs de confusion potentiels ont été pris en compte, notamment l'éducation maternelle, aucun changement significatif n'a été observé.	Statistique
(Jiang et al., 2024)	N = 8992, + 65 ans (84.74 ± 9.97), 52.6 % de femmes, Chine	Taux de PM2.5 annuel à l'adresse résidentielle.	Mini-mental State Examination (MMSE) <i>Cognition générale</i>	Éducation : collège ou plus, analphabète Activités sociales et physiques : nombre d'activités et fréquences code de 0 "jamais" à 4 "presque tous les	Les personnes avec un niveau d'éducation plus élevé, faisant plus d'activités physiques et sociales semblent moins affectées négativement par les PM2.5. Cela pourrait indiquer que l'éducation et la fréquence/nombre d'activités physiques et sociales pourraient modérer les effets des PM2.5.	Statistique

				jours"		
(Lee et al., 2022)	N = 4175, 52 - 82 ans (67.8 ± 7.9), 55.2 % de femmes, Corée	Taux de PM10 et de PM2.5 à court, moyen et long terme selon l'adresse résidentielle.	Mini-mental State Examination (MMSE) <i>Cognition générale</i>	Activité physique : oui, non	L'effet néfaste de l'exposition aux PM2.5 et aux PM10 était plus élevé chez les personnes ne pratiquant pas d'activité physique par rapport à ceux en faisant.	Statistique
(Liu et al., 2023)	N = 108099, 16 - 114 ans (48.863 ± 16.106), 49.419 % de femmes, Chine	Exposition moyenne annuelle de PM2.5 à l'adresse résidentielle.	Module cognitif de la " <i>China Family Panel Study</i> " <i>Cognition générale</i>	Activité physique : version révisée du Questionnaire sur l'Activité Physique de Loisirs de Godin-Shephard (GSLTPAQ)	L'activité physique régulière, que ce soit en termes de fréquence ou de durée, améliore les scores cognitifs. L'impact positif de l'exercice est plus marqué chez les personnes exposées à de faibles niveaux de PM2.5. Bien que les effets bénéfiques de l'activité physique soient atténués en cas d'exposition élevée aux PM2.5, l'exercice reste favorable pour la cognition par rapport à l'absence d'activité physique.	Statistique
(Loftus et al., 2019)	N = 1005, 4.4 ± 0.6 ans, 50 % de filles, Etats-Unis	Prédiction résidentielle moyenne annuelle des taux de PM10 et	Echelle d'intelligence de Stanford-Binet, édition 5 (SB-5).	Education parentale selon le plus haut degré d'étude accompli : < High school, High school/GED , Technical school,	Il y a un potentiel effet modérateur de l'éducation parentale entre les PM10 et le QI. Pour le NO2, potentiel effet modérateur de l'éducation maternelle mais pas paternelle.	Observationnelle

		de NO2 en prénatal.	<i>QI</i>	college degree , Grad/Prof degree		
(Ma et al., 2022)	CLHS : N = 31573, 86.14 ± 11.16 ans, 55.88% de femmes, Chine CABLE : N = 1131, 62.47 ± 10.34 ans, 41.11% de femmes, Chine	Taux annuel de PM2.5, d'O3, et de NO2 à l'adresse résidentielle	Mini-Mental State Examination (MMSE) <i>Cognition globale</i>	Activité physique régulière : oui, non	Après avoir ajouté l'activité physique dans le modèle complet, les scores avec le modèle brut ne différaient pour aucune des différentes vagues et polluants de l'étude.	Observationnelle
(Molina-Sotomayor et al., 2019)	N = 181, 68.9 ± 2.85 ans, 100 % de femmes, Chili	Groupe exposé à plus de pollution vs groupe exposé à une plus faible pollution	Mini-mental State Examination (MMSE) Cognition générale	Exercice physique	Il se peut que l'exercice d'aérobic soit un modérateur et protecteur des effets de la pollution atmosphérique sur la cognition.	Statistique
(Molina-Sotomayor)	N = 157, 70.1 ± 5.325	Groupe exposé à plus de pollution	Mini-mental State	Exercice physique	Les participants ayant suivi un programme d'entraînement à la résistance et dans un	Statistique

or et al., 2020)	ans, 100 % de femmes, Chili	vs groupe exposé à une plus faible	Examination (MMSE) <i>Cognition générale</i>		milieu moins pollué rapportaient de meilleur score cognitif que ceux qui n'ont pas suivi le programme et qui étaient dans un environnement plus pollué.	
(Ni et al., 2022)	N = 1967, 4 - 6 ans (5.2 ± 1), 51 % de filles, Etats-Unis	Taux moyen des PM2.5 et de NO2 à l'adresse résidentielle pour chaque trimestre de grossesse, de 0 à 2 ans et de 2 à 4 ans.	Stanford-Binet Intelligence Scales, Fifth Edition (SB-5) <i>QI</i>	Education maternelle : moins que les secondaires, secondaires/GED, université / école technique, diplôme d'étude supérieures ou professionnelles.	Les scores changent fortement après l'inclusions des covariables, suggérant un effet modérateur de celles-ci. L'éducation maternelle en faisant partie, il se peut qu'elle modère l'association entre les polluants et le QI.	Observationnelle
(Ogurtsova et al., 2023)	N = 2554, 45 - 75 ans (63.2), 50.5 % de femmes, Allemagne	Moyenne annuelle de PM10, de PM2.5 et de NO2 à l'adresse résidentielle	Montreal Cognitive Assessment (MoCA) <i>Cognition générale</i>	Education : ≤10 ans, 11- 13 ans, ≥14 ans Activité sportive : oui, non	L'ajustement pour les facteurs de confusion potentiels et les co-expositions n'a pas modifié les résultats.	Statistique

(Peterson et al., 2022)	N = 332, 6 - 14 ans (10.8 ± 1.38), 53 % de filles, Etats-Unis	Exposition quotidienne lors de la grossesse aux PM2.5 à l'adresse résidentielle	Anatomie cérébrale <i>Mesures cérébrales</i>	Education maternelle : ≥ 12 ans, < 12 ans d'études	L'éducation maternelle et d'autres covariable ne changeaient pas les résultats.	Statistique
(Petkus et al., 2020)	N = 2202, 67 - 83 ans, 100 % de femmes, Etats-Unis	Exposition moyenne aux PM2.5 à l'adresse résidentielle	California Verbal Learning Test (CVLT) <i>Mémoire épisodique</i>	Education : moins que l'école secondaire, école secondaire, plus que l'école secondaire	L'éducation ne changeait pas les résultats après ajustement.	Statistique
(Porta et al., 2016)	N = 465, 7 ans, 51 % de filles, Italie	Taux moyen de NO2 annuel à l'adresse résidentielle	Weschler Intelligence Scale for Children-III (WISC-III) <i>Intelligence</i>	Niveau d'éducation maternelle et paternel : élevé, moyen, faible	Autant pour l'éducation maternelle que paternelle, les résultats suggèrent qu'elles pourraient modérer l'association entre l'exposition au NO2 et le QI des enfants. Cependant, les effets ne sont pas statistiquement significatifs ce qui indique que les variations ne sont pas assez prononcées pour conclure à un effet modérateur clair dans l'étude.	Statistique
(Pujol et al., 2016)	N = 263, 8 - 12 ans (9.7 ± 0.9), 48.3 % de filles, Espagne	Evaluation de la pollution annuelle du NO2 et de l'EC sur le	N-Back informatisée, version informatisée de l' <i>Attentional</i>	Education parentale sur 5 points, « 5 » étant le niveau universitaire.	De plus haut taux de pollution routière ont augmenté les temps de réaction, et étaient associés à des changements fonctionnels cérébraux au niveau du DMN. Il n'y a pas eu de changement au niveau de l'anatomie ou	statistique

		lieu et les heures scolaire.	<p><i>Network Test</i> pour enfant (Child ANT), IRM</p> <p><i>Mémoire de travail, Vitesse de Réponse moteur, Attention, Mesures cérébrales</i></p>		<p>de la structure cérébrale. Pour les autres données cognitives, les résultats n'étaient pas significatifs.</p> <p>L'éducation parentale n'a pas montré d'effet pertinent sur les résultats.</p>	
(Salinas-Rodriguez et al., 2018)	N = 7986, + 60 ans (69.9 ± 7.63), 54 % de femmes, Mexique	Estimations moyenne annuelle de PM2.5 à l'adresse résidentielle.	<p>semantic verbal fluency (SVF)</p> <p><i>Mémoire de travail, mémoire, fonctions exécutives</i></p>	Education : < 9, ≥9	<p>Pour la fluence verbale, l'augmentation de la pollution diminuait le score mais l'éducation augmentait le score.</p> <p>Il n'y avait pas de différence pour l'éducation concernant l'association entre les PM2.5 et le test de fluence verbal, lorsqu'une faible éducation était comparée à une plus importante.</p>	Observationnelle
(Shin et al., 2019)	N = 2896, 70 – 84 ans (76.0 ± 3.9), 52.5 % de femmes, Corée	Concentration moyenne des PM2.5 de 2015 à 2017.	<p>Mini-mental State Examination - Korean (MMSE-KC), Frontal assessment battery (FAB)</p>	<p>Activité physique : actif, inactif</p> <p>Education : ≥ 9 ans, < 9 ans d'études</p>	<p>Pour le score général de la MMSE, les mesures d'attention, de mémoire de travail, de mémoire et des fonctions exécutives, des associations négatives ont été trouvées entre les PM2.5 et moins de 9 ans d'éducation et l'inactivité physique</p>	Statistique

			<i>Cognition générale, Attention Mémoire de travail, Mémoire, Fonction exécutive</i>			
(X. Sun et al., 2023)	N = 512, 6 ans, 41.8 % de filles, Chine	Taux de PM2.5 à l'adresse résidentielle maternelle moyenné pour chaque trimestre de grossesse.	Version abrégée de Wechsler Intelligence Scale for Children 4th (WISC-IV). Generation de score index: Verbal Comprehension Index (VCI), Perceptual Reasoning Index (PRI), et Full Scale IQ (FSIQ) <i>Intelligence</i>	Activités en plein air après l'école (h/semaine) comme mesure de substitution de l'activité physique : ≤ 2 h/semaine, > 2 h/semaine	Plus d'activités physiques pourraient avoir des effets protecteurs sur les associations inverses entre l'exposition prénatale aux PM2.5 et le QI des enfants.	Statistique

(Sunyer et al., 2015)	N = 2715, 7 – 10 ans (8.5 ± 3.9), 50 % de filles, Espagne	Taux d'EC et de NO2 pris pendant deux périodes d'une semaine séparées de 6 mois	N-back, Attention Network Test (ANT) <i>Mémoire de travail, attention</i>	Education maternelle : faible vs élevée	Pour les scores stratifiés par l'éducation maternelle, les personnes avec une plus haute éducation maternelle avaient, à même exposition, des résultats plus négatifs dans tous les domaines, pour le NO2 et l'EC. Décrivant donc de moins bonnes performances.	Observationnelle
(Sunyer et al., 2017)	N = 2687, 7 – 10 ans, 50 % de filles, Espagne	Taux d'EC et de NO2 quotidiens à l'école entre 9 et 17h.	N-back, Attention Network Test (ANT) <i>Mémoire de travail, attention</i>	Education maternelle : faible vs élevée	Pour les scores stratifiés par l'éducation maternelle, les personnes avec une plus haute éducation maternelle avaient, à même exposition, des résultats plus faibles dans la mémoire de travail pour l'O2, et plus haut pour l'EC. Pour l'inattention, une éducation maternelle plus élevée donnait de meilleurs scores pour le NO2 et de moins bons pour l'EC.	Observationnelle
(Wood et al., 2024)	N = 8883, + 50 ans (64.40 ± 9.75), 55.1 % de femmes, Angleterre	Estimation des PM10, PM2.5, de l'O3 et du NO2 annuels à l'adresse résidentielle.	Rappel immédiat et différé, test de dénomination d'animaux <i>Mémoire, Fonction exécutive</i>	Niveau d'éducation : âge auquel les participants ont quitté l'enseignement à plein temps	Le modèle ajusté séparément pour l'éducation n'a pas montré de changement et est resté assez similaire, ne suggérant pas d'effet modérateur de l'éducation.	Observationnelle

(Yao et al., 2022)	N = 7928, + 45 ans (57.60 ± 8.46), 47.69 % de femmes, Chine	Concentration de PM10 et de PM2.5 dans la ville de résidence sur 90 jours.	Rappel immédiat et différé, Telephone Interview of Cognitive Status (TICS) <i>Mémoire épisodique, Attention</i>	Education : école primaire ou moins, collège ou plus	L'impact des PM10 sur le déclin des fonctions cognitives était plus important chez les participants avec un niveau d'éducation plus faible. Ces résultats n'ont pas été constatés pour les PM2.5.	Statistique
(Younan et al., 2022)	N = 2232, 74 - 92 ans, 100 % de femmes, Etats-Unis	Estimations des taux de NO2 et de PM2.5 à l'adresse résidentielle pour les 10 ans précédant l'étude.	Telephone Interview for Cognitive Status (TICSm), California Verbal Learning Test (CVLT) Cognition générale, mémoire épisodique	Education : Diplôme d'études secondaires ou GED, > études secondaires mais < que 4 ans de supérieurs, ≥ à 4 ans de supérieur Activité physique : pas d'activité, de temps en temps, 2 à 4 fois semaine, plus de 4 fois semaine	Le modèle ajusté pour l'éducation et l'activité physique n'a pas montré de changement par rapport au modèle brut, ce qui ne suggère pas d'effet modérateur de l'éducation ou de l'activité physique.	Observationnelle

(L. Zhang et al., 2022)	N = 16337, + 45 ans (58.83 ± 9.56), 51.4 % de femmes, Chine	Taux annuel moyen de PM2.5 au niveau préfectoral.	Mini-Mental State Examination (MMSE) <i>Cognition générale, mémoire épisodique</i>	Activité physique : nombre d'heures d'activité sur une semaine Activité sociale : nombre d'activités sociales sur le mois précédent avec un score maximum de 8	Les scores entre les facteurs environnementaux et la fonction cognitive n'ont pas changé après l'ajout de l'activité physique et des niveaux d'engagement social. Ce qui suggère que la participation à des activités physiques et sociales ne semble pas médier la relation entre les facteurs environnementaux et la fonction cognitive et la mémoire épisodique.	Statistique
(X. Zhang et al., 2022)	N = 348, 4.79 ± 1.31 ans, 47.13 % de filles, Etats-Unis	Concentration moyenne trimestrielle de PM2.5 à l'adresse résidentielle	Picture Sequence Memory Test (PSMT) <i>Mémoire</i>	Education maternelle : études supérieures ou moins vs diplôme d'études supérieures	L'éducation maternelle pourrait modifier l'association entre le PM2,5 et la cognition.	
(Y. Zhang et al., 2022)	N = 90, 18 - 30 ans (22.29 ± 2.28), 51.11 % de femmes, Chine	Concentration moyenne journalière personnel de l'exposition aux PM2.5 via un moniteur portable.	Tâche de Stroop Fonction exécutive	Activité physique : Temps moyen passé en activité physique d'intensité modérée à vigoureuse (MVPA)	L'activité physique peut compenser l'effet négatif induit par la pollution à court terme sur les fonctions exécutives. Il serait nécessaire de faire 13.6 minutes d'MVPA par augmentation de 10 µg/m ³ de PM2.5 quotidiens. L'amélioration fournie par la MVPA sur la fonction exécutive était plus prononcée lorsque l'air était plus pollué.	Statistique pour l'activité physique et observationnelle

				<p>par jour, en minute.</p> <p>Education : nombre d'année d'éducation supérieure</p>	<p>Potentiel effet modérateur de l'éducation pour ces données.</p>	<p>pour l'éducation</p>
--	--	--	--	--------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------

Annexe 4

<i>Population</i>	<i>Polluants</i>	<i>Cognition</i>	<i>Facteur de réserve cognitive</i>	<i>Référence des articles</i>	<i>Direction des l'articles</i>
Enfants et adolescents					
<i>Enfants et adolescents</i>	PM10	Intelligence, QI et raisonnement	Education parentale ³	(Loftus et al., 2019) ³	Favorable
<i>Enfants et adolescents</i>	PM2.5 / EC/BC	Cognition générale	Education maternelle ¹	(Hurtado-Diaz et al., 2021) ¹	Non favorable
<i>Enfants et adolescents</i>	PM2.5 / EC/BC	Intelligence, QI et raisonnement	Education maternelle ¹ Education parentale ³ Activité physique ⁴	(Dominguez et al., 2024) ³ (Harris et al., 2015) ³ (Ni et al., 2022) ¹ (X. Sun et al., 2023) ⁴	Effet positif Non favorable
<i>Enfants et adolescents</i>	PM2.5 / EC/BC	Attention, Mémoire de travail et fonction exécutive	Education maternelle ¹ Education parentale ³	(Alvarez-Pedrerol et al., 2017) ¹ (Basagana et al., 2016) ¹ (Dominguez et al., 2024) ³ (Pujol et al., 2016) ³ (Sunyer et al., 2015) ¹ (Sunyer et al., 2017) ¹	Non favorable
<i>Enfants et adolescents</i>	PM2.5 / EC/BC	Mémoire	Education maternelle ¹ Education parentale ³	(Harris et al., 2015) ³ (X. Zhang et al., 2022) ¹	Favorable
<i>Enfants et adolescents</i>	PM2.5 / EC/BC	Vitesse de traitement et temps de réaction	Education parentale ³	(Pujol et al., 2016) ³	Non favorable
<i>Enfants et adolescents</i>	PM2.5 / EC/BC	Mesures cérébrales	Education maternelle ¹ Education parentale ³	(Peterson et al., 2022) ¹ (Pujol et al., 2016) ³	Non favorable

<i>Enfants et adolescents</i>	NO2	Intelligence, QI et raisonnement	Education maternelle ¹ Education paternelle ² Education parentale ³	(Dominguez et al., 2024) ³ (Loftus et al., 2019) ³ (Ni et al., 2022) ¹ (Porta et al., 2016) ^{1,2}	Favorable pour l'éducation maternelle Non favorable pour l'éducation paternelle
<i>Enfants et adolescents</i>	NO2	Attention, Mémoire de travail et fonction exécutive	Education maternelle ¹ Education parentale ³	(Alvarez-Pedrerol et al., 2017) ¹ (Dominguez et al., 2024) ¹ (Pujol et al., 2016) ³ (Sunyer et al., 2015) ¹ (Sunyer et al., 2017) ¹	Non favorable
<i>Enfants et adolescents</i>	NO2	Vitesse de traitement et temps de réaction	Education parentale ³	(Pujol et al., 2016) ³	Non favorable
<i>Enfants et adolescents</i>	NO2	Mesures cérébrales	Education parentale ³	(Pujol et al., 2016) ³	Non favorable
Jeunes adultes à 40 ans					
<i>Jeunes adultes à 40 ans</i>	PM2.5 / EC/BC	Cognition générale	Education ¹	(Calderon-Garciduenas et al., 2021) ¹	Favorable
<i>Jeunes adultes à 40 ans</i>	PM2.5 / EC/BC	Attention, Mémoire de travail et fonction exécutive	Education ¹ Activité physique ²	(Y. Zhang et al., 2022) ^{1,2}	Favorable Favorable
<i>Jeunes adultes à 40 ans</i>	PM10	Attention, Mémoire de travail et fonction exécutive	Education ¹ Activité physique ² Statut professionnel ³	(Chen & Schwartz, 2009) ^{1,2,3}	Favorable Non favorable Non favorable
	PM10		Education ¹ Activité		Favorable

<i>Jeunes adultes à 40 ans</i>		Mémoire et apprentissage	physique ² Statut professionnel ³	Chen & Schwartz, 2009) ^{1, 2, 3}	Non favorable
					Non favorable
<i>Jeunes adultes à 40 ans</i>	PM10	Vitesse de traitement et temps de réaction	Education ¹ Activité physique ² Statut professionnel ³	(Chen & Schwartz, 2009) ^{1, 2, 3}	Favorable
					Non favorable
					Non favorable
<i>Jeunes adultes à 40 ans</i>	O3	Attention, Mémoire de travail et fonction exécutive	Education ¹ Activité physique ² Statut professionnel ³	(Chen & Schwartz, 2009) ^{1, 2, 3}	Favorable
					Favorable
					Favorable
<i>Jeunes adultes à 40 ans</i>	O3	Mémoire	Education ¹ Activité physique ² Statut professionnel ³	Chen & Schwartz, 2009) ^{1, 2, 3}	Favorable
					Favorable
					Favorable
<i>Jeunes adultes à 40 ans</i>	O3	Vitesse de traitement et temps de réaction	Education ¹ Activité physique ² Statut professionnel ³	(Chen & Schwartz, 2009) ^{1, 2, 3}	Favorable
					Favorable
					Favorable
Adultes d'âge moyen à âgés					
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	PM10	Cognition générale	Education ¹ Activité physique ²	(Lee et al., 2022) ² (Molina-Sotomayor et al., 2019) ² (Molina-Sotomayor et al., 2020) ² (Ogurtsova et al., 2023) ^{1, 2}	Non favorable
					Favorable
<i>Adultes d'âge</i>	PM10	Attention, Mémoire de travail	Education ¹	(Wood et al., 2024) ¹ (Y. Yao et al., 2022) ¹	50/50

			et fonction exécutive		
<i>moyen à âgés</i>					
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	PM10	Mémoire	Education ¹	(Wood et al., 2024) ¹ (Y. Yao et al., 2022) ¹	50/50
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	PM10	Mesures cérébrales	Education ¹ Activité physique ²	(Furlong et al., 2022) ² (Gale et al., 2020) ¹	Favorable Non favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	PM2.5 / EC/BC	Cognition générale	Education ¹ Activité physique ² Activité sociale ³ Loisirs ⁴	(Han & Jia, 2022) ^{1,4} (Jiang et al., 2024) ^{1,2,3} (Lee et al., 2022) ² (Liu et al., 2023) ² (Ma et al., 2022) ² (Molina-Sotomayor et al., 2019) ² (Molina-Sotomayor et al., 2020) ² (Ogurtsova et al., 2023) ^{1,2} (Shin et al., 2019) ^{1,2} (Younan et al., 2022) ^{1,2} (Zhang et al., 2022) ^{2,3}	Favorable Favorable 50/50 50/50
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	PM2.5 / EC/BC	Attention, Mémoire de travail et fonction exécutive	Education ¹ Activité physique ²	(Salinas-Rodriguez et al., 2018) ¹ (Shin et al., 2019) ^{1,2} (Wood et al., 2024) ¹ (Y. Yao et al., 2022) ¹	Non favorable Favorable
<i>Adultes d'âge</i>	PM2.5 / EC/BC	Mémoire	Education ¹ Activité physique ²	(Cerin et al., 2021) ² (Petkus et al., 2020) ¹ (Salinas-Rodriguez et al., 2018) ¹	Non favorable

<i>moyen à âgés</i>				(Shin et al., 2019) ^{1,2} (Wood et al., 2024) ¹ (Y. Yao et al., 2022) ¹	Favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	PM2.5 / EC/BC	Vitesse de traitement et temps de réaction	Activité physique ²	(Cerin et al., 2021) ²	Favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	PM2.5 / EC/BC	Mesures cérébrales	Education ¹ Activité physique ²	(Chen et al., 2015) ^{1,2} (Furlong et al., 2022) ² (Gale et al., 2020) ¹	50/50 50/50
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	O3	Cognition générale	Activité physique ²	(Ma et al., 2022) ² (Molina-Sotomayor et al., 2019) ² (Molina-Sotomayor et al., 2020) ²	Favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	O3	Attention, Mémoire de travail et fonction exécutive	Education ¹	(Wood et al., 2024) ¹	Non favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	O3	Mémoire	Education ¹	(Wood et al., 2024) ¹	Non favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	NO2	Cognition générale	Education ¹ Activité physique ²	(Ma et al., 2022) ² (Molina-Sotomayor et al., 2019) ² (Molina-Sotomayor et al., 2020) ² (Ogurtsova et al., 2023) ^{1,2} (Younan et al., 2022) ^{1,2}	Non favorable Favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	NO2	Attention, Mémoire de travail et fonction exécutive	Education ¹	(Wood et al., 2024) ¹	Non favorable

<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	NO2	Mémoire	Education ¹ Activité physique ²	(Cerin et al., 2021) ² (Wood et al., 2024) ¹	Non favorable
					Favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	NO2	Vitesse de traitement et temps de réaction	Activité physique ²	(Cerin et al., 2021) ²	Favorable
<i>Adultes d'âge moyen à âgés</i>	NO2	Mesures cérébrales	Education ¹ Activité physique ²	(Furlong et al., 2022) ² (Gale et al., 2020) ¹	Favorable
					Favorable