**Coûts de l'hypotrophie par Retard de la Croissance Intra-Utérine (RCIU) attribuable
à la pollution atmosphérique en France**

Coûts de l'hypotrophie néonatale attribuable à la pollution atmosphérique en France

**THE COSTS OF HYPOTROPHY DUE TO INTRAUTERINE GROWTH RESTRICTION
(IUGR) ATTRIBUTABLE TO AIR POLLUTION IN FRANCE**

Costs of neonatal hypotrophy attributable to air pollution in France

C. Rafenberg [1], I. Annesi-Maesano [1]

[1] Equipe d'épidémiologie des maladies allergiques et respiratoires (EPAR), UMR-S 1136, Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et Santé Publique, UPMC Paris6, Sorbonnes Universités, Faculté de Médecine Saint-Antoine, Paris, France

Auteur correspondant

Christophe RAFENBERG

Equipe EPAR-UMRS 1136

27 rue de Chaligny 75571 Paris CEDEX 12

Tél : 06.72.61.80.25

Christophe.rafenberg@gmail.com

Résumé

L'exposition des femmes enceintes aux particules fines de diamètre inférieur à $2.5\ \mu$ ($PM_{2.5}$) est responsable de naissances d'enfants hypotrophes, dont certains en grandissant, présenteront des déficiences intellectuelles qui peuvent être exprimées, entre autres, sous la forme de pertes de points du quotient intellectuel (QI).

Nous avons évalué le coût de la prise en charge à la naissance et du retard cognitif des enfants hypotrophes dont le faible poids de naissance est attribuable à la pollution particulaire par les particules (PP) en 2012 en France métropolitaine.

Le coût de la prise en charge spécifique à la naissance des 8300 (min 3 100 / max 13 300) enfants qui naissent hypotrophes chaque année en France à cause d'une exposition à la PP est estimé à 25 millions € (min 9,5 / max 39 millions €). Parmi ces 8 300 enfants, 1 880 présenteront un QI inférieur aux valeurs moyennes de la population générale. Le coût annuel de la prise en charge du handicap mental du fait des déficiences intellectuelles attribuables à la PP est estimé à 15 millions €. Le coût de la prise en charge du handicap mental sur l'ensemble de la vie de tous les enfants hypotrophes nés en 2012 avec un retard de QI attribuable à la PP est estimé à 1,2 milliard € (min 458 millions / max 1,9 milliard en € 2012).

Au-delà des coûts supportés par les générations futures et de l'appauvrissement intellectuel de notre société, il est primordial d'assurer *ad minima* une surveillance renforcée des femmes enceintes exposées à la pollution atmosphérique. Pour les décideurs, il est urgent de prendre des mesures efficaces et efficientes pour protéger la santé des populations exposées.

Mots clés : Pollution de l'air, Retard de croissance, RCIU, retard mental, coûts des soins de santé, coûts sanitaires, coûts pour la société santé publique

Summary

Exposure of pregnant women to fine particulate matter of a $< 2.5 \mu$ diameter ($PM_{2.5}$) is responsible for low birthweight (LBW) and intellectual disabilities, as expressed by the loss of points of the intelligence quotient (IQ).

We estimated the attributable cost due to $PM_{2.5}$ of health care at birth and cognitive retardation of children with LBW in metropolitan France in 2012.

The cost of specific care of the 8 300 (mini 3 100 / max 13 300) children born every year in France with a LBW attributable to $PM_{2.5}$ exposure is estimated at 25 millions € (mini 9,5 / max 39 millions €). Among these 8 300 children, 1 880 will present an intelligence quotient (IQ) lower than the average of the general population. The annual cost of the care of these intellectual deficiencies attributable to $PM_{2.5}$ is estimated at 15 millions € and that of the mental handicap on the lifespan of the LBW children born in 2012 attributable to $PM_{2.5}$ is estimated at 1,2 billions € (mini 458 millions/max 1,9 billions in €).

Beyond the elevated costs borne by the future generations and the intellectual impoverishment of our society, it is essential to assure continued monitoring “ad minima” of pregnant women exposed to air pollution. For the decision-makers, it is urgent to take effective measures and actions to protect the health of the exposed populations.

Keywords : Air pollution, intra-uterine retardation growth, mental retardation, cost of illness, health care costs, public health

1. INTRODUCTION

Depuis quelques décennies, la France a été soumise à des épisodes de pollution atmosphérique aigus qui peuvent être à l'origine de l'aggravation de maladies préexistantes. Des nombreuses études toxicologiques et épidémiologiques indiquent que la pollution atmosphérique (PA) reste un facteur de risque sanitaire important même à des niveaux faibles, surtout lorsque les expositions sont prolongées. Une meilleure connaissance des coûts induits par la PA, dans un contexte de réponse à un impact sanitaire majeur et d'obligations réglementaires, représente une information importante en matière de politique de santé publique. Dans ce cadre, nous avons entrepris d'explorer les coûts sanitaires tangibles attribuables à la pollution de l'air dans le cas de 5 pathologies [1]. Peu d'études ont évalué les coûts des effets de la PA sur la femme enceinte et son fœtus, et aucune n'a porté sur les coûts des conséquences de l'hypotrophie [2] à la suite d'un retard de croissance intra-utérins (RCIU) attribuables à la pollution atmosphérique.

La physiologie des RCIU (poids < 10^{ème} à la courbe standardisée (âge gestationnelle (AG)/poids)) est vraisemblablement multifactorielle. Elle laisse penser qu'un développement placentaire anormal est l'hypothèse de départ (mauvaise vascularisation du placenta) [3]. L'étiologie des RCIU répond à différentes causes : des embryopathies, le syndrome « d'alcoolisme fœtal », la malnutrition fœtale, le tabagisme, les syndromes vasculo-rénaux (environ 50 % des cas) [4]. Ces causes peuvent parfois s'additionner. Des effets hématologiques de la PA pourraient aussi engendrer une réponse inflammatoire à l'origine de symptômes vasculaires, d'une diminution de l'oxygène placentaire et donc de l'oxygénation du fœtus [5]. Les mécanismes cardiovasculaires viennent d'être en partie confirmés pour les PM_{2,5} dans une étude récente qui enregistre une diminution notable de la pression artérielle systolique des fœtus exposés à la PA [6]. Une hypothèse toxicologique suggère aussi que les composants des particules atmosphériques

(« particulate matter » en anglais (PM)) et notamment les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) agiraient comme des substances tératogènes [7]. Des concentrations significatives de HAP ont été détectées chez les nouveaux nés hypotrophes [8]. D'autres données viendront probablement compléter ce tableau étiologique. Pour la population et les femmes enceintes en particulier, les syndromes cardio-vasculaires sont des conséquences bien étudiées de l'exposition à la PA [9]. La variation du poids de naissance est mise en évidence en fonction de l'exposition à cette pollution [10]. De plus, l'étude ICAPO (International Collaboration on Air pollution and Pregnancy Outcomes) [11] a permis de préciser les liens entre l'exposition à la pollution et les naissances de faibles poids. Avec un total d'environ 74 000 naissances dans 12 pays européens, l'étude Escape [12] a permis de déterminer cette relation en éliminant de nombreux facteurs de confusion (le tabagisme, la corpulence maternelle...) et en tenant compte d'indicateurs socio-économiques (éducation maternelle), des lieux de résidences des mères, du nombre d'enfants. L'assurance d'un ajustement du statut socio-économique (SSE) de la mère permet éviter les effets d'une trop forte exposition à la PA des mères de quartiers périphériques de grandes villes, les effets de faibles ressources diminuant l'accès à un suivi médical de la grossesse ou encore une difficulté à se procurer une nourriture appropriée lors de la gestation.

Les RCIU sont à l'origine de conséquences importantes sur la santé et la qualité de vie des individus qui en ont eu. Tout d'abord il est significativement lié à l'hypotrophie (naissance à terme mais poids à la naissance inférieur à 2,500 kg). Durant les premières années de la vie des enfants nés avec un RCIU, on enregistre des différences morphologiques notables : à l'âge de 2 ans, 8 % des enfants hypotrophes présentent un déficit statural (qui sera le plus souvent définitif), 12 % présentent un déficit pondéral et 11 % un déficit du périmètre crânien [11] [13]. Ces enfants présenteront ultérieurement un risque accru d'anomalies de

croissance ou du développement de la composition corporelle (modification de l'indice corporel, modification du rapport des masses grasses). À l'âge adulte, on enregistre un risque accru de troubles métaboliques avec syndrome d'insulino-résistance [14]. L'augmentation de la mortalité et de la morbidité néonatale est une conséquence immédiate de l'hypotrophie. Cependant les progrès en néonatalogie ont largement amélioré la prise en charge des enfants hypotrophes en réduisant notablement la mortalité et en limitant les effets et les séquelles des RCIU, sans pour autant les supprimer totalement. Cette prise en charge spécifique a un coût économique supplémentaire à la charge du système de soin dont nous sommes tous les acteurs. Des différences significatives de développement neurologique et de quotient d'intelligence (QI) des enfants hypotrophiques sont relatées dans la littérature scientifique [15] [16]. On note aussi des difficultés de coordination, de latéralisation, dans les compétences spatiales et grapho-motrice, de socialisation.... Ces symptômes sont fréquemment associés aux RCIU dont les séquelles sont à l'origine des troubles de l'apprentissage. Notre étude s'est particulièrement intéressée à ces aspects. Environ un quart des hypotrophes auront des retards de développement intellectuel [17]. Pour les naissances de très faibles poids (moins de 1 500-2 000 g), les études de cohortes ont constaté que 8 % à 18 % des enfants ont un quotient intellectuel en dessous 70 et 25 % à 29 % ont des quotients intellectuels compris entre 70 et 84. On estime que 5 % des enfants de faible poids (2 000 g) ont un QI inférieur à 70 (retard mental avéré) et 19 % ont un QI compris entre 70 et 84 (zone de pseudo-normalité). Pour les enfants avec un RCIU modéré (plus de 2 000 g moins de 2 500 g), 5 % ont un QI inférieur à 70 et 17 % ont un QI compris entre 70 et 84 [18]. Dans la population générale des personnes souffrant d'une déficience intellectuelle, 84 % présentent une déficience intellectuelle légère, 10 % une déficience moyenne, 4 % une déficience sévère et 2 % une déficience profonde [19].

L'objectif de ce travail est d'évaluer les coûts attribuables à la pollution particulaire (PP) par les particules fines de taille inférieure à 2.5 μ (PM_{2.5}) de la prise en charge à la naissance d'enfants hypotrophes et de leur handicap mental, que nous avons exprimé sous la forme de pertes de points du quotient intellectuel (QI), pour l'année 2012 en France métropolitaine. Nous avons choisi le QI comme indicateur pour la disponibilité des données et sa simplicité, mais il ne reflète pas totalement les capacités émotionnelles, artistiques ou créatives des personnes porteuses de handicaps. Notre évaluation doit être considérée selon notre volonté d'éclairer les pouvoirs publics sur les conséquences de l'exposition à la PP et non comme une volonté de stigmatiser le handicap et son coût.

2. MATERIEL ET METHODES

L'estimation des coûts pour le système de soin et pour la prise en charge du handicap mental attribuable à la pollution particulaire (PP) d'enfant hypotrophes a comporté 3 phases (Figure 1) :

- le dénombrement total des enfants hypotrophes (toutes causes confondues) puis l'estimation du nombre d'enfants hypotrophes attribuables à la PP.
- l'estimation des coûts tangibles des séjours péri et post-natals en maternité attribuables à la PP.
- l'estimation des coûts de la prise en charge du handicap attribuable à la PP (par intervalle de points de QI). Dans ce cas il s'agissait de coûts tangibles et intangibles à la fois.

2.1 Dénombrement du nombre d'enfants hypotrophes attribuables à la PP

La France s'est dotée d'un Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI). Celui-ci permet d'identifier les naissances hypotrophes à l'aide des différentes classifications par groupe homogène de maladie (GHM) dont les clés d'entrées sont le

poids à la naissance (PN) (moins de 2 500 g) et l'âge de la grossesse (AG) (entre 37 et 42 semaines) (Tab. 1 en annexe). Ces groupes sont composés de codes d'affections qui nous permettent d'identifier les populations pertinentes dans notre étude dans le PMSI (Tab. 2 en annexe). Il existait parfois une confusion dans les différents codes : P05 « Faible poids pour l'âge gestationnel », P07 « Poids extrêmement faible à la naissance » ou P07.1 « Autres poids faibles à la naissance ». Nous avons retenu le libellé du code P05 qui induisait de manière explicite que l'AG était connue. Les codages en P07 et P07.1 étaient plus difficiles à prendre en compte. Même si on retrouvait ces libellés dans un GHM qui faisait expressément référence à l'AG (dans notre cas 37-38 semaines d'aménorrhée (SA)), le codage P07 induisait qu'il existait un doute sur l'AG ou faisait référence à des prématurés dont le poids était adapté à l'AG dans les autres GHM avant 37 SA. Les enfants prématurés répondant aux deux critères AG et PN mais qui n'étaient pas des hypotrophes n'étaient pas retenus (Tab. 2 en annexe). Pour les codes P05, nous avons tenu compte des diagnostics principaux et des diagnostics associés. Il n'y a pas eu de double compte en sélectionnant ainsi cette population car les enfants en P05 « diagnostics principaux » n'étaient pas les mêmes que les P05 « diagnostics associé ».

Le nombre d'enfant hypotrophes attribuable à la pollution atmosphérique a été estimé en considérant une valeur moyenne représentative d'exposition à la pollution particulaire en France à la fois en milieu urbains et rural [20] [21]. Cette valeur a été pondérée en fonction des lieux d'habitations de la population (76 % pour la valeur urbaine et 24 % la valeur rurale) et arrondi à la valeur supérieure (Tab. 1). Soit :

$$\text{Valeur moyenne de la concentration de PM}_{2.5} = [(0,76 \times ((Z_{ur} + Z_{tr})/2)) + (0,24 \times Z_{rur})]$$

avec Z_{ur} = valeur urbaine, Z_{tr} = valeur du trafic et Z_{rur} = valeur rurale.

Le nombre d'enfants hypotrophes attribuable au $\text{PM}_{2.5}$ d'origine humaine a été calculé par rapport à une pollution appelée de fond de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (4,8 arrondi à 5) de $\text{PM}_{2.5}$ [22], en

utilisant le risque relatif (intervalle de confiance à 95%) ajusté sur les facteurs de confusion potentiels de naissance d'enfants de faibles poids en relation avec une augmentation de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de l'exposition maternelle aux $\text{PM}_{2.5}$ pendant la grossesse identifié par l'étude ESCAPE, soit 1.18 (min 1.06, max 1.33) ([12]). Le modèle étant multiplicatif, une variation de X $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (avec X inférieure à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) s'exprime selon la formule suivante :

$$\text{RR}_{(\text{pour } x \mu\text{g}/\text{m}^3)} = \text{RR}_{(\text{pour } 5 \mu\text{g}/\text{m}^3)}^{x/5}$$

2.2 Coûts des séjours en maternité attribuables à la PP

Le nombre et le coût des séjours des enfants hypotrophes était disponible sur le PMSI (Tab. 3 en annexe). Il variait fortement d'un GHM à un autre et au sein du GHM selon la sévérité des problèmes de l'enfant. Pour affiner notre estimation, nous avons utilisé les pourcentages de répartition au sein du GHM15 et tenu compte des différents sous-groupes dans le GHM qui impliquaient des prises en charge différentes (sans problème, problème significatif, problème majeur et sévère). Globalement les dépenses d'activité clinique (les soins) représentaient environ 60 % à 70 % du montant global avec des variations notables selon la sévérité (par exemple lorsque la prise en charge en réanimation est nécessaire). Les dépenses médico-techniques étaient de l'ordre de 4 à 5 %, la logistique et la gestion générale représentaient entre 20 et 30 %. Le reste des coûts se répartissait entre la logistique médicale pour environ 1 %, les charges directes entre 6 et 8 % et les charges de la structure de soins pour environ 5 à 6 %. Le montant obtenu a été associé aux enfants hypotrophes attribuables à la pollution atmosphérique.

2.3 Coûts de la prise en charge du handicap attribuable à la pollution atmosphérique

Deux types de coûts étaient estimés : tangibles et intangibles.

Pour le calcul des coûts tangibles pendant une année, nous avons pris en compte les différents niveaux de retards, les budgets connus et la répartition des retards par GHM, mais le manque de données nous a contraints à agréger l'ensemble des budgets sans

différencier les gravités des retards. Après recherches, les structures concernées dans la prise en charge du handicap des enfants hypotrophes pouvaient être publiques, privées ou semi-publiques. Elles se complétaient pour prendre en charge le handicap mais leurs financements pouvaient être nationaux, locaux, publics ou privés, voire les trois à la fois, et un individu pouvait avoir recours à plusieurs types de structures en même temps. Nous avons identifié tous les types d'établissements et toutes les allocations possibles.

Les couts tangibles pour la vie entière ont été calculés en multipliant le coût de prise en charge du handicap sur la durée de vie de ces personnes [23]. Cette espérance de vie est très significativement corrélée au QI. En 2005, elle était de 74 années pour une déficience intellectuelle légère, de 67,6 années pour une déficience modérée et de 58,6 années pour une déficience sévère [24]. Faute de donnée pour les retards profonds, nous avons approché l'âge de décès à 30 ans.

Les coûts intangibles associés à la perte de QI étaient aussi calculés. L'appauvrissement en QI a été initialement évalué. Nous avons ensuite défini un indicateur pour manipuler ses points de QI, l'HEQIS ou «homme équivalent de QI standard», soit un individu intellectuellement fonctionnel d'un QI moyen compris entre 90 et 110 points. Cet indicateur représente ce qui est perdu pour la société en termes de potentiels artistique, de créativité, de découverte, d'altruisme et de tous ce qui fait l'intérêt de l'espèce humaine en faisant abstraction de la bêtise, de la cupidité ou de la cruauté, défaut tout autant partagés par l'espèce humaine.

3. RÉSULTATS

3.1 Nombre d'enfants hypotrophes attribuables à la PP

Au total, 18 471 enfants hypotrophes (critères PN et AG respectés) étaient dénombrés sur les 821 000 naissances de l'année 2012 (environ 2,3 %) en 2012 en France (Tab. 4 en annexe). Environ 73 % des enfants hypotrophes n'avaient pas eu de problème significatif

hormis un retard de croissance pris en charge dans la structure médicale, ce qui ne présageait pas d'un retard neurologique en grandissant. Environ 25 % des enfants restant devaient être pris en charge pour un problème significatif nécessitant d'autres actes médicaux que la seule prise en compte des conséquences du RCIU. 2 % des enfants souffraient de problèmes sévères et majeurs. Notre estimations montrait que si la pollution par les PM_{2,5} était réduite à la seule valeur du bruit de fond, 8 292 naissances d'enfants hypotrophes auraient pu être évitées (mini 3 134-max 12 920), soit 45 % des naissances hypotrophes (17 %-70 %).

3.2 Coûts associés à la prise en charge à la maternité

Le montant global de la prise en charge à la naissance de l'hypotrophie due à la pollution atmosphérique était estimé à 24 602 295 € (min 9 311 850 € / Max 38 304 955 €). Ces soins s'appliquaient à l'ensemble des enfants hypotrophes attribuables à la PP avec ou sans séquelles.

3.3 Coûts de la prise en charge du handicap attribuable à la pollution atmosphérique

3.3.1. Coûts tangibles

On estimait que 1 880 (min 712 / Max 2925) des 8 292 enfants hypotrophes à la suite de la pollution atmosphérique avaient présenté un retard de QI variable allant du retard profond à une pseudo-normalité (mini 734- max 3 013) (Tab. 2). En considérant que le budget de prise en charge était proportionnel au nombre de personnes handicapées identifiées en France (soit 3,5 millions tout handicap confondu) sans tenir compte de la gravité du retard mental, les coûts annuels du handicap attribuable à la PP étaient estimés à 15,1 millions par année (min 5,7 / Max 23,5 millions) (Tab. 3). En faisant l'hypothèse que tous les enfants survivent et vieillissent, un enfant naissant en 2012 avec un retard mental attribuable à la PP coûterait entre 235 000 euros et 641 000 euros en sur l'ensemble de sa vie (coût de prise en charge à la naissance + accompagnement). L'ensemble des enfants

nés en 2012 avec retard mental attribuable à la PP coûtent 1,2 milliards sur l'ensemble de leurs vies (mini 458 millions - max 1,9 milliards) (Tab. 4).

3.3.2 Coûts intangibles

Notre estimation indiquait qu'entre 18525 points (min 205 / et 75785 points de QI sont perdus par les enfants avec retards cognitifs attribuables à la PP (Tab. 5 en annexe). En considérant l'intervalle moyen fonctionnel d'un QI moyen compris entre 90 et 110 points, c'était entre 168 et 842 HEQIS/ an perdus pour le fonctionnement de la société (Tab. 13). En utilisant une valeur de 13 000 € par point de Q [25] [26].I, le montant global des points de QI perdu sur l'année 2012 était compris entre 241 millions et 985 millions €.

4. DISCUSSION

En France métropolitaine chaque année naissent environ 8 300 enfants hypotrophes attribuables à la pollution atmosphérique, dont 1 880 présenteront un QI inférieur aux valeurs moyennes de la population générale. Le total des coûts annuels tangibles (prise en charge à la naissance plus prise en charge du handicap) directement supportés par le système de soin, le système de solidarité envers le handicap et le budget de la Nation (éducation nationale,...) pour ces enfants était de 40,1 millions d'euros (mini 15,2 millions – max 62,5 millions). Par ailleurs, pour les enfants nés dans la seule année 2012, le coût de prise en charge du handicap mental sur l'ensemble de la vie de ces enfants avec un retard de QI est estimé à 1,2 milliard €.

A notre connaissance, notre étude est la première à avoir fournie une estimation des coûts dans le cas de l'hypotrophie néonatale due à l'exposition à la pollution atmosphérique.

Notre étude sous-estime les coûts réels attribuables à la pollution atmosphérique. Dans notre étude nous avons abordé les RCIU sous l'aspect des seules conséquences cognitives. Cependant, les études sur le devenir des enfants hypotrophes montrent des troubles

importants du métabolisme, qui peuvent être associés à d'autres troubles, et des séquelles sur leurs capacités motrices. Il faudrait donc explorer les coûts de soins liés aux autres séquelles, souvent sur de longue période, voir sur une vie entière lorsqu'il s'agit de troubles chroniques comme le diabète souvent associé à la PA. Les enfants hypotrophes, en plus de la seule prise en charge du retard mental, nécessitent des soins connexes (kinésithérapie, orthophonie, accompagnement et coaching,...) soit dans des structures de soins avec une prise en charge par le système de soin, soit dans des structures paramédicales à la charge des familles. Notre analyse méconnaît les coûts annexes comme les fauteuils roulants, les voitures et les maisons aménagées...investissements nécessaires à la qualité de vie du handicapé et de sa famille dont les montants sont importants, quelque fois déductibles de l'impôt. Nous pensons que notre étude sous-estime notablement les coûts.

Nous n'avons pas pu déterminer précisément les coûts de prise en charge des retards en fonction de leurs gravités. Nous savons que ces coûts peuvent varier notablement en fonction de la gravité. Il faudra donc avoir une meilleure vision de ces coûts mais aussi mieux connaître le devenir des enfants hypotrophes en matière de survie, d'activité salarié à l'âge adulte,...et tous les autres paramètres influant sur ces coûts.

Nos estimations ne prennent pas en compte les coûts de soins des autres affections, ni les soins de confort ou d'accompagnement souvent à la charge des familles ou encore les autres coûts à la charge de la nation comme les aides à l'emploi de personnes handicapés... Ces sommes sont à mettre au débit des générations futures qui auront à subvenir au système de solidarité pour les enfants qui naissaient hier, naissent aujourd'hui et naîtront dans les années à venir, après avoir été exposés à la PA, et si aucune mesure efficace de lutte contre la PP n'est mise en place. Sur l'intervalle 2000-2020, en € constants, la facture des coûts tangibles pour notre système de soin pourrait s'élever entre 9 milliards et 38

milliards pour uniquement pour les enfants nés sur cette période et sur l'ensemble de leurs vies. Dans le cas des enfants sans séquelle et parfaitement intégré dans la société, on constate malgré tout une faible fécondité notable des adultes nés avec un RCIU [26]. Cette faible fécondité nécessitera une aide à la procréation qui elle aura un coût dans notre système de soin.

Nous avons construit une valeur moyenne d'exposition au $PM_{2.5}$ pour l'ensemble de la France. Cette valeur n'est pas représentative des différentes expositions en fonction des régions et des populations. Dans un second temps, il sera nécessaire de reprendre cette approche pour affecter à chaque zone des expositions moyennes annuelles et des naissances. L'idéal étant de prendre en compte l'exposition des femmes en enceintes sur la période de gestation, ce que des capteurs individuels permettront de faire prochainement [27] et si les cohortes sont assez importantes et représentatives.

Malgré ces manques dans les données, notre étude s'appuie sur des données épidémiologiques solides, une population de naissances hypotrophes précise et des coûts globaux référencés. Notre étude constitue une première estimation, à minima, du coût des naissances d'enfants hypotrophes attribuables à la PA, dans la continuité de nos précédents articles [1]. Cette estimation montre qu'il est primordial de poursuivre notre effort d'évaluation des coûts de la PP sur notre santé. Au-delà du débat sur le nombre de mort, la PP est une cause de morbidité dont on ne soulignera jamais assez l'importance que nous souhaitons exprimer en nombre de personnes touchées ou de coûts pour le système de soin. Il est nécessaire de mettre en place de vraies politiques d'amélioration de la qualité de l'air pour les générations futures. Nous devons aussi nous interroger sur ce que représente cette « *perte d'intelligence* » dans notre société et les conséquences financières que subi et subira notre économie. Cette perte de points de QI constitue indéniablement un appauvrissement.

Dans l'immédiat, il faut réfléchir à des moyens de protéger les femmes enceintes et leurs fœtus des expositions à la pollution atmosphérique. Par exemple, dans un premier temps et à minima, les autorités sanitaires (ARS, agglomérations, maternités...) pourraient mettre en place une vigilance particulière des grossesses des femmes enceinte résidants et travaillant dans des zones de fortes expositions de PA.

D'un point de vue épidémiologique, chaque RCIU et naissances hypotrophes pourraient être mieux renseignés pour identifier les différentes expositions de l'habitation, du lieu de travail, les trajets domicile-travail. Des mesures à l'échelle nationale pourraient aussi réduire les risques. Par exemple, il est concevable de proposer très tôt à une femme enceinte de ne plus se rendre sur son lieu de travail ou de ne plus effectuer les déplacements domicile-travail si l'exposition au poste de travail ou sur les trajets est trop importante. Cela pourrait s'appliquer aux femmes exposées directement à la PP (travail en extérieur, conduite...). Lors des pics de pollution, on ne propose pas aux enfants en bas âges (maternelles et crèches) de sortir. Il est raisonnable d'inviter les femmes enceintes à rester à leurs domiciles lors de ces pics. De telles mesures devraient s'appliquer systématiquement : le coût des salaires restera bien inférieur au coût de prise en charge d'un enfant avec retard durant l'ensemble de sa vie.

Au total, en dépit du faible nombre d'enfants hypotrophes qui peuvent être attribués à l'exposition de leurs mères pendant la grossesse chaque année en France, les coûts de leur prise en charges sont élevés. A ces coûts il faut rajouter un appauvrissement intellectuel de notre société. Dans les années à venir, la réduction de l'exposition à la pollution atmosphérique doit constituer un objectif primordial.

Remerciements

Docteur Zizicas Pédiatre, Nanterre ;

Dr Lydie Joly-Sanchez, Pédiatre Praticien Hospitalier, Médecin Directeur CAMSP, Chef de Pôle Femme-Enfant, Centre Hospitalier Marc jacquet, Melun.

Financement : aucun

Liens d'intérêts : aucun

Références

[1] Rafenberg C., Annesi-Maesano I., Dixsaut G., Évaluation du coût de la pollution atmosphérique pour le système de soin français : Evaluation à minima de la part attribuable à la pollution atmosphérique du coût des principales pathologies respiratoires et des hospitalisations pour pathologies cardiovasculaires, ERS, mars 2015,

[2] Dommergues JP, Dommergues MA. : Diagnostic d'une hypotrophie du nourrisson et du jeune enfant. Encyclopédie Médico-Chirurgicale : Pédiatrie – Maladies infectieuses. 2007; 4-002-T-09.

Boulot P, Giacalone PL. : Retard de croissance intra-utérin. La revue du praticien. 1995;45:1751-1757.

Gold F, Jouannic JM. : Retard de croissance intra-utérin. Encyclopédie Médico-Chirurgicale : Pédiatrie – Maladies infectieuses. 2010; 4-002-S-80.

[3] haddha V, Viero S, Huppertz B, Kingdom J: Developmental biology of the placenta and the origins of placental insufficiency. Seminar of Fetal Neonatology Medecine 2004, 9:357-369.

[4] Collège National des Gynécologues et Obstétriciens Français, ENSEIGNEMENT DU 2 ÈME CYCL, POLYCOPIÉ NATIONAL, Gynécologie – Obstétrique Item 21 : Retard de Croissance Intra-Utérin (RCIU)

[5] Ha EH, Hong YC, Lee BE, Woo BH, Schwartz J, Christiani DC: Is air pollution a risk factor for low birth weight in Seoul? Epidemiology 2001, 12:643-648.

- [6] - Van Rossem L et coll. : Prenatal Air Pollution Exposure and Newborn Blood Pressure. *Environ Health Perspect.*, 2015;123 : 353-9. doi: 10.1289/ehp.1307419.
- Wendee N : Air Pollution and Neonatal Blood Pressure. *Environ Health Perspect.*, 2015 Apr 1;123(4):A94. doi: 10.1289/ehp.123-A94.
- [7] 18 Perera FP, Jedrychowski W, Rauh V, Whyatt RM: Molecular epidemiologic research on the effects of environmental pollutants on the fetus. *Environment Health Perspect* 1999, 107(Suppl 3):451-460.
- [8] Perera FP, Whyatt RM, Jedrychowski W, Rauh V, Manchester D, Santella RM, Ottman R: Recent developments in molecular epidemiology: a study of the effects of environmental polycyclic aromatic hydrocarbons on birth outcomes in Poland. *Am J Epidemiol* 1998, 147:309-314.
- [9] Dadvand, Payam, Jennifer Parker, Michelle L. Bell, Matteo Bonzini, Michael Brauer, Lyndsey A. Darrow, Ulrike Gehring, et al. 2013. Maternal exposure to particulate air pollution and term birth weight: a multi-country evaluation of effect and heterogeneity. *Environmental Health Perspectives* 121(3): 267-373.
- [10] Léger J, Limoni C, Czernichow P. Prediction of the outcome of growth at 2 years of age in neonates with intra uterine growth retardation. *Early Hum Dev* 1997 ; 48 : 211-23.
- [11] T. Woodruff, J. Parker, K. Adams, M. Bell, U. Gehring, S. Glinianaia, E. Ha, B. Jalaludin, R. Slama, International Collaboration on Air Pollution and Pregnancy Outcomes (ICAPPO), *International Journal of Environment Research and Public Health*. 2010 Jun; 7(6): 2638–2652.
- [12] Pedersen M, Kogevinas M, Slama R, Ambient air pollution and low birthweight: a european cohort study (Escape) ; *The Lancet Respiratory Medicine* , Volume 1 , Issue 9 , 695 - 704

- [13] Hokken-Koelega ACS, De Ridder MA, Lemmen RJ, et al. Children born small for gestational age : do they catch up. *Pediatr Res* 1995 ; 38 : 267-71.
- [14] Juliane Léger ; L'enfant né petit pour l'âge gestationnel : sa croissance, son devenir ; *mt pédiatrie*, vol. 9, n° 4, juillet-août 2006
- [15] LEITNER Y, FATTAL-VALEVSKI A, GEVA R, BASSAN H, POSNER E et coll. Six-year follow-up of children with intrauterine growth retardation : long-term, prospective study. *J Child Neurol* 2000,
- [16] Valleur-Masson D. Devenir neurologique et scolaire des enfants avec RCIU in *les Troubles scolaires*, A. Tomatis, Ergo Presse, 1988.
- [17] Nancy E. Reichman, Low Birth Weight and School Readiness, *The Future of Children: A Collaboration of The Woodrow Wilson School of Public and International Affairs at Princeton University and The Brookings Institution*, Volume 15 Number 1 Spring 2005
- [18] *Psychology in action*, 8 edition, John Wiley & son inc., 2007
- [19] Inventaire des données de bruit de fond dans l'air ambiant, l'air intérieur, les eaux de surface et les produits destinés à l'alimentation humaine en France, INERIS, 2009.
- [20] Bilan de la qualité de l'air en France en 2012 et principales tendances observées au cours de la période 2000- 2012, DGEC, MEDDE
- [21] Rita Van Dingenen et al., A European aerosol phenomenology—1: physical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe, *Atmospheric Environment* n°38 p2561–2577, 2004.
- [22] Nancy Breitenbac, Plus longtemps que prévu, *Revue Francophone de la déficience intellectuelle*, volume 11, numéro 1, p85-92
- [23] Bernard Azéma, Nathalie Martinez, Les personnes handicapées vieillissantes : espérances de vie et de santé ; qualité de vie, *Revue française des affaires sociales*

2005/2 (n° 2), La Documentation française

[24] Pichery et al.: Childhood lead exposure in France: benefit estimation and partial cost-benefit analysis of lead hazard control. *Environmental Health* 2011 10:44.

[25] Elise Gould, Childhood Lead Poisoning: Conservative Estimates of the Social and Economic Benefits of Lead Hazard Control, *Environmental Health Perspectives*, volume 117 | number 7 | July 2009.

[26] Van Gendt AW et coll. : Reproductive outcomes of women and men born very preterm and/or with a very low birth weight in 1983: a longitudinal cohort study in the Netherlands. *Eur J Pediatr.*, 2015; 174: 819-825

[27] Isabella Annesi Maesano, projet de capteur individuel de l'exposition à la pollution de l'air.

Figure 1 : Méthodologie de l'étude

Tableau 1 : Valeurs moyennes des concentrations des particules fines (PM_{2.5}) en µg/m³
(synthèse source 20 et 21)

	Zones urbaines	Zone de trafics	Zones rurales	À proximité d'industries	Valeur moyenne retenue dans notre étude	Valeur du bruit de fond naturel
PM ₁₀	22	30	18	21	24 µg/m³	7,0 (± 4.1) µg/m³
PM _{2.5}	21	21	<i>Nd</i> : estimé à 17	10	20 µg/m³	4,8 (±2,4) µg/m³

Nd : valeur non disponible. Par cohérence avec les PM₁₀, dont la variation est de 20 % entre la zone rurale et urbaine, nous avons estimé la valeur à 17 µg/m³.

Tableau 2 : Nombre d'enfants avec un retard mental attribuable à une exposition fœtale à la pollution de l'air par les particules fines présenté par degrés de sévérité du retard.

	profond	sévère	moyen	léger	pseudo-normalité	Total des enfants avec retards de QI	% du total des naissances hypotrophes (sur 19 041)
Mini	4	7	16	133	552	712	3,74 %
Moy	9	17	43	349	1 460	1 878	9,86 %
maxi	14	27	66	543	2 275	2 925	15,36 %

Tableau 3 : Coût de prise en charge annuel des personnes handicapées dont le retard mental est attribuable à la pollution de l'air par les particules fines

	Budget	coût de prise en charge des enfants hypotrophes avec retards attribuables à la PA		
		mini	moy	max
Établissements spécifiques d'accueils	13,8 milliards €	2 894 057 €	7 629 429 €	11 879 829 €
École ordinaire (budget spécifique handicap)	1,1 milliard €	230 686 €	608 143 €	946 943 €
Établissements de soins psychiatriques	450 millions€	94 371 €	248 786 €	387 386 €
Allocations ressources adultes	9,7 milliards €	2 034 229 €	5 362 714 €	8 350 314 €
compensations enfants	2,3 milliards €	482 343 €	1 271 571 €	1 979 971 €
Total		5,73 millions €	15,12 millions €	23,54 millions €
Moyenne de coût de prise en charge par enfant / an		Environ 7 800 €		

Tableau 4 : Evaluation du coût de tous les enfants nés en 2012 avec retard attribuable à la pollution de l'air par les particules fines sur l'ensemble de la vie en fonction de la gravité du retard

Gravité	Mini.	Moy.	Maxi.	Âge des décès	En Euros 2012			
					coût sur l'ensemble de la vie par enfant né en 2012	coût pour l'ensemble des enfants nés en 2012 jusqu'à leurs décès		
						Mini.	Moy.	Maxi.
pseudo normalité	570	1 505	2 345	82	640 748	365 226 360	964 325 740	1 502 554 060
léger	133	349	543	74	578 236	76 905 388	223 621 052	313 982 148
moyen	16	43	66	68	531 352	8 501 632	27 552 164	35 069 232
sévère	7	17	27	59	461 026	3 227 182	10 892 716	12 447 702
profond	4	9	14	30	234 420	937 680	5 766 732	3 281 880
Coût de prise en charge/an			7 814		TOTAL	454 millions €	1,2 milliards €	1,9 milliards €

ANNEXES

Tableau 1 : Liste des Groupes Homogènes de Maladie (GHM) retenus dans l'étude

GHM		Critères		Groupement	Gravité du problème
		PN	AG		
15M06	A	2 400 g	38 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 2	sans problème significatif
	B	2 400 g	38 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 2	avec autre problème significatif
	C	2 400 g	38 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 2	avec problème sévère
	D	2 400 g	38 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 2	avec problème majeur
15M07	A	2 200 g	37 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 3	sans problème significatif
	B	2 200 g	37 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 3	avec autre problème significatif
	C	2 200 g	37 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 3	avec problème majeur ou sévère
15M08	A	2 000 g	37 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 4	sans problème significatif
	B	2 000 g	37 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 4	avec autre problème significatif
	C	2 000 g	37 SA et assimilés	groupe nouveau-nés 4	avec problème majeur ou sévère

Tableau 2 : Code du PMSI retenu pour constituer la population

Code			Critères		Commentaire
			AG : Entre 37 et 42 SA	PN : Moins de 2 500 g	
P050	Faible poids pour l'âge gestationnel	Retenu	respecté	respecté	RCIU
P051	Petite taille pour l'âge gestationnel	Retenu	respecté	respecté	Décrit implicitement un enfant qui n'est pas prématuré mais dont le poids (la taille) n'est pas en rapport avec son AG
P059	Croissance lente du fœtus, sans précision	Retenu	respecté	respecté	RCIU constaté à un moment ou un autre de la grossesse
P07 et P07.1	Poids extrêmement faible et autres poids faible	Non retenu	Non précisé	respecté	Le critère AG non respecté décrit des enfants prématurés

Tableau 3 : Nombre de séjours et coûts moyen de prise en charge en € à la naissance des enfants de faibles poids de naissances en 2012 par les Groupes Homogènes de Maladie (GHM).

GHM 15 (Version 11)		Nombre de séjours ENCC	Coût complet en Euros
Libellé du groupe	GHM15M06 Nouveau-nés de 2 400 g et âge gestationnel de 38 SA et assimilés (groupe nouveau-nés 2)	6 221	2 079 €
	GHM15M7 Nouveau-nés de 2 200 g et âge gestationnel de 37 SA et assimilés (groupe nouveau-nés 3)	2 010	3 443 €
	GHM 15M08 Nouveau-nés de 2 000 g et âge gestationnel de 37 SA et assimilés (groupe nouveau-nés 4)	1 713	5 387 €

Tableau 4 : Effectifs des naissances hypotrophes par gravité en 2012

Groupe GHM		Effectifs du code P0.5
15M06	À sans problème significatif	6 445
	B avec un autre problème significatif	3 707
	C avec problème sévère	265
	D avec problème majeur	67
15M07	À sans problème significatif	4 649
	B avec un autre problème significatif	563
	C avec problème majeur ou sévère	57
15M08	À sans problème significatif	2 243
	B avec un autre problème significatif	439
	C avec problème majeur ou sévère	36
Total de naissances hypotrophes du PMSI		18 471
Total des naissances en France		821 300
En % du total des naissances en France		2,3 %

Tableau 5 : Equivalence « homme de QI standard » des pts de QI perdus par les enfants hypotrophes attribuables à la pollution de l'air par les particules fines

	Perte globale de pts de QI	« Homme Equivalent de QI standard » perdu	
		Plancher du QI moyen : 90 pts de QI	Plafond du Qi moyen : 110 pts de QI
Mini	18525	205	168
Max	75785	842	689