

> **SOMMAIRE // Contents**

ARTICLE // Article

Incidence, prévalence et circonstances de découverte du diabète de type 1 chez l'enfant en Bretagne entre 2017 et 2019 // Incidence, prevalence and circumstances of discovery of type 1 diabetes in children in Brittany between 2017 and 2019, Francep. **226**

Mathilde Le Gall et coll.

Unité d'endocrinologie et diabétologie pédiatrique, CHU Rennes

ARTICLE // Article

Impact de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine : réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et impact à long terme pour la période 2016-2019 // Impact of air pollution on mortality in metropolitan France: Reduction related to the spring 2020 lockdown and long-term impact for 2016-2019p. **232**

Lucie Adélaïde et coll.

Santé publique France, Saint-Maurice

La reproduction (totale ou partielle) du BEH est soumise à l'accord préalable de Santé publique France. Conformément à l'article L. 122-5 du code de la propriété intellectuelle, les courtes citations ne sont pas soumises à autorisation préalable, sous réserve que soient indiqués clairement le nom de l'auteur et la source, et qu'elles ne portent pas atteinte à l'intégrité et à l'esprit de l'oeuvre. Les atteintes au droit d'auteur attaché au BEH sont passibles d'un contentieux devant la juridiction compétente.

Retrouvez ce numéro ainsi que les archives du Bulletin épidémiologique hebdomadaire sur <https://www.santepubliquefrance.fr/revues/beh/bulletin-epidemiologique-hebdomadaire>

Directeur de la publication : Laëtitia Huiart, directrice scientifique, adjointe à la directrice générale de Santé publique France
Rédactrice en chef : Valérie Colombani-Cocuron, Santé publique France, redaction@santepubliquefrance.fr
Rédactrice en chef adjointe : Frédérique Bilon-Debernardi
Rédactrice : Jocelyne Rajnchapel-Messari
Secrétariat de rédaction : Marie-Martine Khamassi, Farida Mihoub
Comité de rédaction : Raphaël Andler, Santé publique France ; Thierry Blanchon, Iplest ; Florence Bodeau-Livinec, EHESP ; Julie Boudet-Berquier, Santé publique France ; Kathleen Chami, Santé publique France ; Bertrand Gagnière, Santé publique France - Bretagne ; Isabelle Grémy, ORS Île-de-France ; Anne Guinard / Damien Mouly, Santé publique France - Occitanie ; Nathalie Jourdan-Da Silva, Santé publique France ; Philippe Magne, Santé publique France ; Valérie Olié, Santé publique France ; Alexia Peyronnet, Santé publique France ; Annabel Rigou, Santé publique France ; Hélène Therre, Santé publique France ; Sophie Vaux, Santé publique France ; Isabelle Villena, CHU Reims.
Santé publique France - Site Internet : <http://www.santepubliquefrance.fr>
Préresse : Jouve
ISSN : 1953-8030

INCIDENCE, PRÉVALENCE ET CIRCONSTANCES DE DÉCOUVERTE DU DIABÈTE DE TYPE 1 CHEZ L'ENFANT EN BRETAGNE ENTRE 2017 ET 2019

// INCIDENCE, PREVALENCE AND CIRCUMSTANCES OF DISCOVERY OF TYPE 1 DIABETES IN CHILDREN IN BRITTANY BETWEEN 2017 AND 2019, FRANCE

Mathilde Le Gall¹ (mathilde.legall.18@gmail.com), Sylvie Nivot¹, Marie-Aline Guitteny¹, Marie-Béatrice Saade¹, Karine Bourdet², Cécilia Marques³, Céline Rivallain³, Katarzyna Marszal⁴, Nourredine Idres⁴, Fanny Duhamel⁴, Raphael Teissier⁵, Lénaïg Coustant⁶, Juliette Delpout⁷, Aurélie Brasseur⁷, Anne Jossens⁸, Marc de Kerdanet¹

¹ Unité d'endocrinologie et diabétologie pédiatrique, CHU Rennes

² Unité d'endocrinologie et diabétologie pédiatrique, CHRU Brest

³ Pédiatrie, Centre hospitalier Bretagne-Atlantique, Vannes

⁴ Pédiatrie, Centre hospitalier de Saint-Brieuc, Saint-Brieuc

⁵ Pédiatrie, Groupe hospitalier Bretagne Sud, Lorient

⁶ Pédiatrie, Centre hospitalier de Cornouaille, Quimper

⁷ Pédiatrie, Centre hospitalier du pays de Morlaix, Morlaix

⁸ Pédiatrie, Centre hospitalier de Saint-Malo, Saint-Malo

Soumis le 25.02.2021 // Date of submission: 02.25.2021

Résumé // Abstract

Introduction – L'objectif de l'étude était d'estimer l'incidence et la prévalence du diabète de type 1 chez l'enfant en Bretagne entre 2017 et 2019. L'objectif secondaire était d'étudier les circonstances de découverte du diabète sur cette période.

Patients et méthode – L'étude a été réalisée de manière rétrospective à partir des données du nouveau logiciel régional RegiDiab[®]. La période étudiée s'est étendue de 2017 à 2019. Les taux d'incidence et de prévalence ont été calculés par année et selon la catégorie d'âge : 0-4 ans, 5-9 ans, 10-14 ans. Les signes cliniques ou biologiques conduisant au diagnostic étaient représentés par un syndrome polyuro-polydipsique seul, une acidocétose, ou un coma acidocétosique. Ils ont été étudiés par année et selon la catégorie d'âge.

Résultats – 998 patients âgés de 0 à 18 ans et présentant un diabète de type 1 suivi en Bretagne ont été inclus dans le logiciel RegiDiab[®]. Le taux d'incidence entre 2017 et 2019 pour les enfants de moins de 15 ans était de 20,3 pour 100 000 personnes années (PA). Il était de 10,7 entre 0 et 4 ans, de 21,6 entre 5 et 9 ans et de 27,1 pour 100 000 PA entre 10 et 14 ans. Le taux de prévalence était de 0,12%. Au moment du diagnostic, il y avait 64,5% des patients présentant un syndrome polyuro-polydipsique seul, 33% une acidocétose et 2,5% un coma.

Discussion – En comparant les résultats obtenus à ceux des études précédemment publiées, le taux d'incidence du diabète de type 1 paraît être toujours en augmentation, mais un ralentissement dans l'accroissement de l'incidence est observé. Le projet de registre RegiDiab[®] est un nouvel outil qui vise à permettre un suivi épidémiologique et de cohorte indispensable à la bonne connaissance de l'évolution de la maladie.

Introduction – The aim of the study was to analyse the incidence and prevalence of type 1 diabetes in children in Brittany between 2017 and 2019. The secondary objective was to study the circumstances in which diabetes was discovered.

Patients and method – The study was carried out retrospectively using data from the new regional software RegiDiab[®]. The study period extended from 2017 to 2019. Incidence and prevalence rates were calculated by year and by age category: 0-4 years, 5-9 years, 10-14 years. The clinical or biological signs leading to the diagnosis were represented by a polyuro-polydipsia syndrome, ketoacidosis, or diabetic coma. They were studied by year and by age category.

Results – 998 patients aged between 0 and 18 years old with type 1 diabetes followed up in Brittany were included in the RegiDiab[®] software. The incidence rate between 2017 and 2019 for children under the age of 15 was 20.3 per 100,000 per year. It was 10.7 between 0 and 4 years old, 21.6 between 5 and 9 years old, and 27.1 per 100,000 per year between 10 and 14 years old. The prevalence rate was 0.12%. At the time of diagnosis, there were 64.5% of patients with only polyuro-polydipsia syndrome, 33% with ketoacidosis, and 2.5% with coma.

Discussion – Comparing the results obtained with those of previously published studies, the incidence rate of type 1 diabetes appears to be still increasing, but a slowdown in the increase is observed. The RegiDiab® register project is a new tool that aims to enable epidemiological and cohort monitoring, which is essential for a good understanding of the disease evolution.

Mots-clés : Diabète de type 1, Registre, Incidence, Prévalence, Acidocétose
// **Keywords:** Type 1 diabetes, Register, Incidence, Prevalence, Ketoacidosis

Introduction

Le diabète de type 1 (DT1) est une maladie chronique dont le diagnostic se fait le plus souvent à un âge pédiatrique¹. Son incidence a connu une importante augmentation depuis la fin du 20^e siècle dans toutes les tranches d'âge en France et dans le monde²⁻⁶. Une étude française réalisée entre 1988 et 1997 montrait déjà une augmentation de l'incidence de 4,2% par an chez les enfants âgés de moins de 15 ans, plus rapide chez les enfants de moins de 5 ans². Plus récemment, une autre étude estimait l'incidence du DT1 en France chez les enfants de moins de 15 ans à 15,4 cas pour 100 000 personnes années (PA) en 2010 et à 19,1 cas pour 100 000 PA en 2015, soit un accroissement du taux d'incidence de 4% par an³. Des études internationales récentes font état d'un plateau ou d'une diminution récente dans la vitesse de croissance de l'incidence dans plusieurs pays⁷⁻¹².

Le DT1 se révèle classiquement par un syndrome polyuro-polydipsique. Le patient peut présenter dès la découverte de la maladie des complications sévères telles que l'acidocétose diabétique, pouvant mener à un coma acidocétosique mettant en jeu le pronostic vital. L'un des enjeux majeurs dans ce domaine est de diagnostiquer la maladie au plus vite afin d'éviter ces risques. Une étude menée sur 13 pays du monde entre 2006 et 2016 estimait à 29,9% les cas d'acidocétose inaugurale¹³. En France, cette part d'acidocétose au diagnostic est plus élevée que dans d'autres pays européens. Elle était évaluée à 43,9% des cas lors d'une étude menée par l'observatoire de l'association Aide aux Jeunes Diabétiques (AJD) dans 146 centres en 2009¹⁴.

Diverses sources d'information peuvent être utilisées pour étudier l'épidémiologie du DT1. Quand ils existent, les registres constituent une base de données fiable et aisée d'exploitation.

En France, un registre utilisé dans quatre régions reflétant la diversité de la population française a permis une estimation du taux d'incidence national du DT1 jusqu'en 1997². Depuis, et en l'absence de registre national, l'utilisation des bases de données médico-administratives *via* le Système national des données de santé (SNDS) ou le Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) a permis d'obtenir des estimations d'évolution d'incidence et d'étudier les variations interrégionales^{3,5}.

Le projet RegiDiab® est un travail sur la mise au point d'un nouveau registre régional en Bretagne financé par l'Agence régionale de santé (ARS). Il permet l'élaboration d'une base de données unique, au moyen

d'un logiciel commun (RegiDiab®) et à partir des données des différents centres hospitaliers présents dans la région. Le suivi des enfants atteints de DT1 se fait exclusivement en milieu hospitalier, selon les recommandations de la Haute Autorité de santé (HAS)¹⁵. Son but est de réaliser un recensement de tous les cas de diabète chez l'enfant suivis en Bretagne et de permettre un suivi de cohorte.

L'objectif de l'étude était d'analyser l'incidence et la prévalence du DT1 chez l'enfant de moins de 15 ans dans la région Bretagne entre 2017 et 2019.

L'objectif secondaire de l'étude était d'analyser les circonstances de découverte de la maladie et d'estimer la part d'acidocétose et de coma au moment du diagnostic.

Patients et méthode

Il s'agit d'une étude épidémiologique descriptive et rétrospective.

Inclusion dans le logiciel RegiDiab®

La première étape de ce travail a été de recueillir les données au moyen du logiciel RegiDiab® et d'y inscrire tous les patients diabétiques âgés de 0 à 18 ans actuellement suivis en pédiatrie en Bretagne. Les enfants dont le suivi avait été initié en Bretagne mais poursuivi ailleurs ont également été inscrits dans le registre. Il existe actuellement huit services pédiatriques assurant le suivi du diabète en Bretagne. Chaque centre possédait sa propre base de données recensant tous les patients diabétiques suivis et toutes les découvertes de diabète par année. L'inclusion dans le logiciel s'est faite de manière rétrospective par les diabétologues dans chaque centre entre novembre 2019 et mai 2020. Une première sélection d'informations a été inscrite pour chaque patient dans le logiciel, afin de permettre la réalisation de cette étude : nom, prénom, sexe, date de naissance, date de découverte du diabète, signes cliniques présents à la découverte du diabète. Ces informations étaient recueillies *via* les bases de données préexistantes dans chaque centre et dans le dossier informatique des patients.

Population d'étude

La population de cette étude était constituée des enfants diabétiques de type 1 de moins de 15 ans suivis en Bretagne entre 2017 et 2019. Les critères d'exclusion étaient une découverte du diabète après l'âge de 14 ans et un diagnostic de diabète différent du DT1. Certains patients ont ainsi été inscrits dans le logiciel, mais non inclus dans l'étude. Les patients

dont la prise en charge à la découverte avait été faite en Bretagne alors qu'ils vivaient dans une autre région ont été exclus.

Analyses

Les informations entrées dans le logiciel ont pu être extraites pour chaque centre sous la forme d'un tableur Excel.

L'incidence et la prévalence du DT1 ont été calculées pour les patients âgés de 0 à 14 ans entre 2017 et 2019. Cette limite d'âge a été choisie pour permettre la comparaison avec les précédentes études françaises et internationales. Ces trois années d'étude ont été choisies pour assurer l'exhaustivité du recueil. Un patient âgé de 14 ans lors de la découverte de son diabète en 2017 avait 16 ou 17 ans au moment du recueil de données, et était donc toujours suivi en pédiatrie et inclus dans l'étude. Étudier les années précédant 2017 exposait à l'exclusion de patients concernés, mais depuis suivis par un endocrinologue non-pédiatre et ne faisant plus partie des bases de données de chaque centre.

Les incidences et prévalences ont été présentées par tranche d'âge : 0-4 ans, 5-9 ans et 10-14 ans. La date de découverte de diabète était définie par la date de la première administration d'insuline. L'âge au moment du diagnostic était l'âge atteint au jour de la découverte du diabète.

Les taux d'incidence ont été calculés à partir du nombre d'enfants nouvellement diagnostiqués diabétiques de type 1 sur l'année étudiée, divisé par le nombre de personnes années (PA). Les personnes années étaient estimées par la population âgée de moins de 15 ans résidant en 2017 en Bretagne, évaluée par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). Les mêmes chiffres ont été utilisés pour les années 2018 et 2019, en l'absence de données récentes disponibles.

Les taux de prévalence ont été calculés en pourcentage à partir du nombre d'enfants diabétiques de type 1 de moins de 15 ans suivis à la fin de l'année étudiée, par rapport à l'ensemble de la population de moins de 15 ans résidant en Bretagne en 2017.

L'objectif secondaire était d'étudier les circonstances de découverte du diabète. Elles ont été divisées en trois groupes : un syndrome polyuro-polydipsique, une acidocétose ou un coma acidocétosique. Les trois groupes étaient exprimés en pourcentage, selon l'année de découverte et selon la tranche d'âge. Une acidocétose était définie selon les recommandations de la Société internationale pour le diabète de l'enfant et de l'adolescent (Ispad) comme la présence d'un pH sanguin inférieur à 7,3 ou d'un dosage de réserve alcaline inférieur à 15 mmol/L. Le coma acidocétosique était ici défini par l'association d'une acidocétose et d'un trouble de la conscience.

Les statistiques ont été réalisées centre par centre, puis ont été mises en commun pour une analyse au niveau régional. Les analyses descriptives ont

été réalisées sur le logiciel Excel. Les intervalles de confiance à 95% (IC95%) ont été calculés selon la méthode standard.

Les trois groupes de circonstance de découverte ont été comparés selon l'âge en analyse univariée à l'aide d'un test du Chi2 sur le logiciel R studio version 4.0.2.

RegiDiab® est un outil informatique de support des données de soins de diabétologie pédiatrique, qui présente un traitement de données en conformité avec le Règlement général européen de protection des données 2016/679, dit RGPD, et avec les recommandations de la Commission nationale de l'informatique et des libertés (Cnil). Le traitement de données "RegiDiab®" est décrit dans le registre de chaque établissement de soins.

Résultats

Les données de 998 patients ont été entrées dans le logiciel RegiDiab®. Les patients étaient nés entre 2002 et 2019, leur diabète avait été découvert entre l'âge de 0 et 14 ans. Il y avait 487 filles et 511 garçons, soit un sex-ratio garçons/filles de 1,05.

L'âge moyen au moment du diagnostic était de 8,6 ans (IC95%: [7,9-9,2]) pour les nouveaux cas diagnostiqués en 2017, 8,5 ans [7,8-9,2] en 2018 et 9,3 ans [8,6-10] en 2019. La médiane d'âge au moment du diagnostic était de 9 ans en 2017 et 2018 et de 10 ans en 2019.

Taux d'incidence

Le nombre de cas incident entre 2017 et 2019 était de 355 patients. Il y a eu 118 nouveaux cas en 2018, 119 en 2018 et 118 en 2019.

Le taux d'incidence rapporté sur les trois années était de 20,3 pour 100 000 PA [18,2-22,4]. Il était de 20,3 pour 100 000 PA chez les filles [17,3-23,4] et de 20,2 pour 100 000 PA chez les garçons [17,3-23,2]. Ce taux était très stable sur les trois années étudiées, comme indiqué dans le tableau.

Le nombre de cas incidents par groupe d'âge cumulé sur les trois années était de 56 nouveaux patients âgés de 0 à 4 ans, soit 15,8% du nombre de nouveaux cas total, 130 nouveaux patients âgés de 5 à 9 ans, soit 36,6%, et 169 nouveaux patients âgés de 10 à 14 ans, soit 47,6%.

Tableau

Incidence et taux d'incidence du diabète de type 1 en Bretagne entre 2017 et 2019

Année	Nouveaux cas	Population de référence	Taux d'incidence pour 100 000 PA	IC95%
2017	118	583 666	20,2	[16,6-23,9]
2018	119	583 666	20,4	[16,7-24]
2019	118	583 666	20,2	[16,6-23,9]

PA : personnes années ; IC95% : intervalle de confiance à 95%.

Le taux d'incidence selon la tranche d'âge pour chaque année est détaillé dans la figure 1. Ces taux étaient croissants entre 2017 et 2019 chez les patients âgés de 10 à 14 ans. Pour les patients âgés de 0 à 4 ans et de 5 à 9 ans, l'évolution des taux était variable.

Le sex-ratio garçons/filles des nouveaux cas de DT1 entre 2017 et 2019 était de 1,04.

Taux de prévalence

Il y avait 686 patients de 0 à 14 ans suivis pour un DT1 en Bretagne en 2017, 689 en 2018 et 698 en 2019. Cela représente le même taux de prévalence à 0,12% [0,11-0,13] pour les trois années. Le taux de prévalence selon la tranche d'âge par année est représenté dans la figure 2. Ces taux étaient globalement stables sur les trois années. Ils étaient les plus faibles chez les patients âgés de 0 à 4 ans et les plus importants chez les patients âgés de 10 à 14 ans.

Circonstances de découverte

Entre 2017 et 2019, 64,5% [59,5-69,5] des patients ont présenté un syndrome polyuro-polydipsique seul au diagnostic, 33% [28,1-37,8] une acidocétose, et 2,5% [0,9-4,2] un coma acidocétosique. Aucun décès n'a été constaté. Les différentes circonstances de découverte selon l'année sont représentées en pourcentage dans la figure 3. Elles ont été étudiées selon la tranche d'âge, les résultats sont présentés dans la figure 4.

Les circonstances de découverte du DT1 et la fréquence de l'acidocétose ne différaient pas de manière significative selon la catégorie d'âge étudiée ($p=0,65$) en analyse univariée.

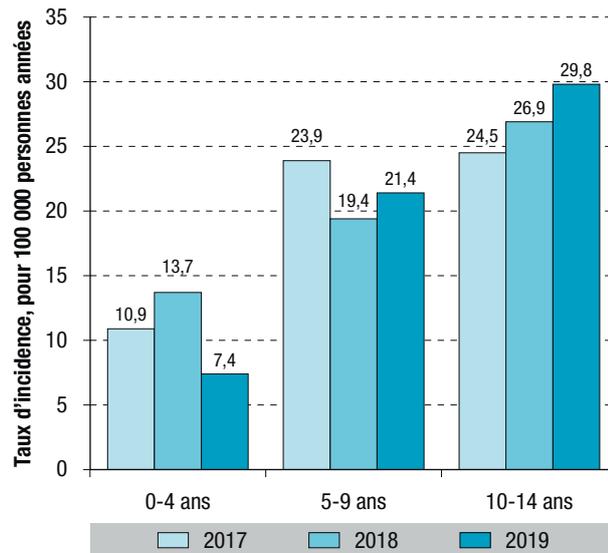
Discussion

Le projet RegiDiab®

L'outil informatique RegiDiab®, mis au point par la société PC Pal en coopération avec notre équipe, est aisé d'utilisation et permet un suivi de cohorte. On rappelle que selon les recommandations de la Haute Autorité de santé (HAS), le suivi du DT1 en pédiatrie se fait uniquement en milieu hospitalier¹⁵. Chaque service possédait sa propre liste de patients suivis, tenue à jour à chaque nouvelle découverte de diabète. Le recueil de données via RegiDiab® est donc conçu pour être exhaustif. Une des limites de notre étude est que nous n'avons pas mis en œuvre de moyens pour vérifier cette exhaustivité, donc l'absence de biais de sélection. Une estimation d'incidence sur ces mêmes années en Bretagne à partir des bases de données médico-administratives, comme réalisé par C. Piffaretti et coll.^{3,5}, pourrait être effectuée, afin de comparer les résultats. Cela permettrait de valider l'exhaustivité de notre base de données et également de tester la fiabilité des algorithmes utilisés dans ce type d'étude. Ces méthodes présentent l'inconvénient, par rapport au suivi de cohorte assuré par les registres, d'être longues à réaliser, le délai entre le recueil des données et les contrôles de fiabilité étant

Figure 1

Taux d'incidence pour 100 000 personnes années du diabète de type 1 en Bretagne entre 2017 et 2019 selon l'âge



Intervalles de confiance à 95% :

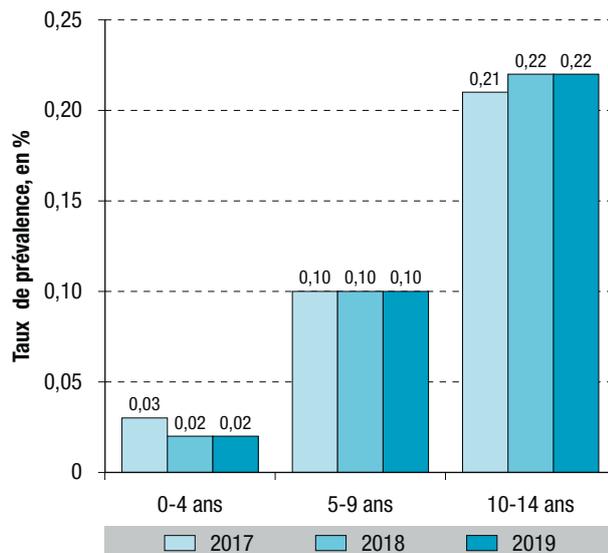
0-4 ans : 2017 [6-15,7] ; 2018 [8,2-19,2] ; 2019 [3,4-11,5].

5-9 ans : 2017 [17,2-30,7] ; 2018 [13,3-25,5] ; 2019 [15-27,8].

10-14 ans : 2017 [17,8-31,2] ; 2018 [19,9-33,9] ; 2019 [22,4-37,2].

Figure 2

Taux de prévalence en % du diabète de type 1 en Bretagne entre 2017 et 2019 selon l'âge



Intervalles de confiance à 95% :

0-4 ans : 2017 [0,02-0,03] ; 2018 [0,02-0,03] ; 2019 [0,02-0,03].

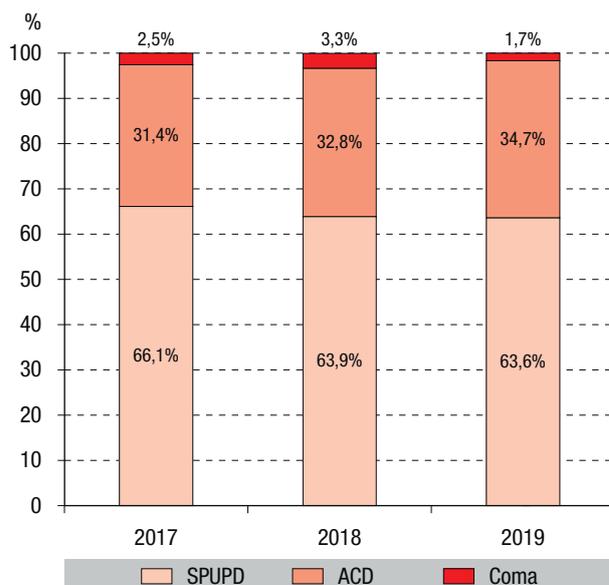
5-9 ans : 2017 [0,08-0,11] ; 2018 [0,08-0,11] ; 2019 [0,08-0,11].

10-14 ans : 2017 [0,19-0,24] ; 2018 [0,2-0,24] ; 2019 [0,2-0,24].

souvent de plusieurs années. Un travail devra être réalisé par le groupe de ce registre, afin de travailler en collaboration avec les Départements d'information médicale (DIM) et les Caisses primaires d'Assurance maladie (CPAM) pour établir une procédure continue de vérification d'exhaustivité. Afin que cette base de données soit considérée comme un registre régional, il s'agira également de formaliser son organisation avec la constitution d'une cellule de direction et de coordination, d'un comité de pilotage,

Figure 3

Circonstances de découverte du diabète de type 1 chez l'enfant en Bretagne entre 2017 et 2019



SPUPD : Syndrome polyuro-polydipsique ; ACD : acidocétose.
 Intervalles de confiance à 95% :
 2017 : SPUPD [37,6-74,6] ; ACD [23-39,7] ; Coma [0-5,4].
 2018 : SPUPD [55,2-72,5] ; ACD [24,6-41,2] ; Coma [0,12-6,5].
 2019 : SPUPD [54,9-72,2] ; ACD [26,2-43,3] ; Coma [0-3,5].

d'un comité scientifique, et de mener un travail sur les procédures, la gouvernance, le financement, les recueils de données et leur vérification.

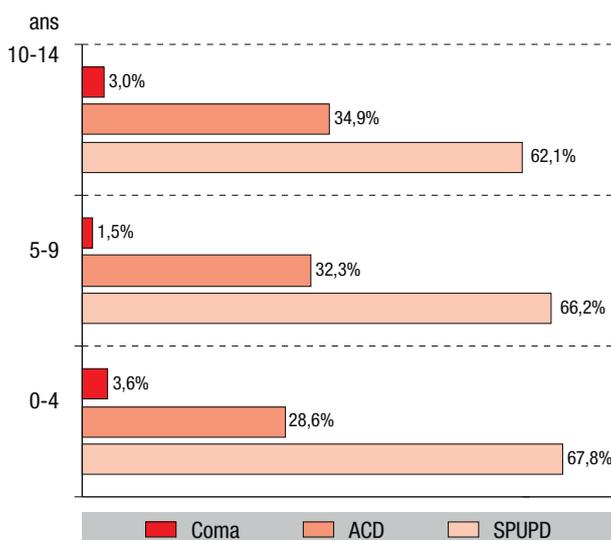
Évolution de l'incidence et de la prévalence du DT1

Cette étude concernait uniquement les patients diabétiques résidant en Bretagne. L'estimation par C. Piffaretti coll.⁵ de l'incidence du DT1 en France et de ses disparités régionales entre 2013 et 2015 avait retrouvé d'importantes différences inter-régionales, mais un taux d'incidence en Bretagne de 18,1 pour 100 000 PA similaire au taux d'incidence national moyen de 18 pour 100 000 PA. Les résultats retrouvés dans notre étude régionale peuvent donc avec prudence être extrapolés afin de permettre une comparaison avec des études nationales. Il faut relever cependant qu'à la différence de notre étude, un patient dont seule la découverte de diabète avait été prise en charge en Bretagne était pris en compte dans l'analyse de la région Bretagne.

L'augmentation de l'incidence du DT1 depuis la fin du 20^e siècle est un fait observé dans toutes les études portant sur le sujet, en France et à l'international²⁻⁶. Depuis les années 2000, un plateau ou un ralentissement dans la vitesse de croissance de l'incidence a parfois été décrit⁷⁻¹². Le taux d'incidence observé en Bretagne entre 2017 et 2019 était plus important que tous les taux d'incidence nationaux estimés auparavant, y compris dans les dernières estimations de 2015. En considérant prudemment ces résultats comme un reflet de la situation nationale, ils confirmeraient que l'incidence du DT1 est toujours en augmentation sur ces dernières années. Cependant, la différence avec les derniers taux d'incidence

Figure 4

Circonstances de découverte du diabète de type 1 chez l'enfant selon l'âge en Bretagne entre 2017 et 2019



SPUPD : Syndrome polyuro-polydipsique ; ACD : acidocétose.
 Intervalles de confiance à 95% :
 0-4 ans : SPUPD [55,6-80,1] ; ACD [16,7-40,4] ; Coma [0-8,4].
 5-9 ans : SPUPD [58-74,3] ; ACD [24,3-40,3] ; Coma [0-3,7].
 10-14 ans : SPUPD [54,8-69,4] ; ACD [27,7-42,1] ; Coma [0,4-5,5].

observés en France et en Bretagne reste modérée, et la vitesse d'accroissement paraît moindre que celle observée au début des années 2000. Dans notre étude, il n'était pas retrouvé d'augmentation du taux d'incidence entre 2017 et 2019. Notre évaluation ne concernant pas les enfants âgés de 15 à 18 ans, une augmentation d'incidence sur cette tranche d'âge reste possible. La période étudiée est certainement trop courte pour confirmer l'hypothèse d'un plateau dans l'augmentation de l'incidence du DT1, mais ces résultats sont cohérents avec l'impression de ralentissement déjà décrite dans plusieurs pays.

En 2012, Santé publique France estimait la prévalence du diabète traité par insuline en France à 0,02% chez les enfants âgés de 0 à 4 ans, à 0,09% chez les enfants âgés de 5 à 9 ans et à 0,18% chez les enfants de 10 à 14 ans¹⁶. Comme visualisé sur la figure 2, notre étude retrouvait un taux de prévalence en Bretagne entre 2017 et 2019 similaire chez les patients âgés de 0 à 4 ans et de 5 à 9 ans, et discrètement plus important chez les patients âgés de 10 à 14 ans. Les données pédiatriques par région n'étant pas renseignées dans l'étude de 2012, la comparaison entre ces données doit rester prudente.

L'âge au moment du diagnostic du DT1 se serait abaissé depuis 30 ans d'après les études françaises^{3,6}. Notre étude ne parvient pas au même constat. En France, l'âge médian au diagnostic était estimé à 10 ans dans les années 1990⁶, puis à 8 ans entre 2010 et 2015³. Notre étude retrouvait un âge médian de 9 ans en 2017 et 2018 et 10 ans en 2019. L'étude de C. Piffaretti et coll. montrait une augmentation continue du taux d'incidence dans la tranche d'âge 0-4 ans entre 2010 et 2015³. Notre étude ne parvient pas aux mêmes conclusions. Comme

le montrent les résultats présentés dans la figure 1, le taux d'incidence chez les enfants âgés de 0-4 ans était variable entre 2017 et 2019, mais inférieur au taux d'incidence de 14,2 pour 100 000 PA estimé au niveau national en 2015. Les effectifs étaient cependant particulièrement faibles dans cette catégorie, et les intervalles de confiance larges.

Circonstances de découverte

La fréquence de la présence d'une acidocétose et d'un coma acidocétosique au moment du diagnostic du DT1 varie de manière importante selon les études, les pays et l'âge^{13,14,17-19}. Une étude française menée par l'observatoire de l'AJD a étudié les signes cliniques présents à la découverte du DT1 dans 146 centres sur l'année 2009. Il était retrouvé une acidocétose dans 43,9% des cas, et elle était plus fréquente chez les enfants âgés de moins de 5 ans¹⁴.

Plusieurs études retrouvent un pourcentage d'acidocétose plus fort chez les enfants plus jeunes^{13,14,19}. La présentation clinique du DT1 est moins évidente à ces âges, la maladie plus rare, et la vitesse de progression vers l'acidocétose et le coma est par ailleurs plus élevée.

Dans notre étude réalisée sur la population bretonne, la présence d'une acidocétose au moment du diagnostic sur les trois années étudiées et toutes tranches d'âge confondues représentait 33% [28,1-37,8] des découvertes de DT1, et celle d'un coma acidocétosique 2,5% [0,9-4,2]. Contrairement aux résultats attendus, la tranche d'âge 0-4 ans était celle où l'acidocétose était la moins fréquente. Les acidocétoses sévères avec coma étaient cependant plus fréquentes chez les 0-4 ans. Notre étude n'a pas permis de mettre en évidence une différence significative entre les circonstances de découverte et la fréquence de l'acidocétose selon l'âge, la faible puissance de l'étude pouvant expliquer ce résultat.

Conclusion

Cette étude permet une estimation récente de l'évolution de l'incidence et de la prévalence du DT1 en Bretagne chez les enfants de moins de 15 ans. Elle est cohérente avec certains résultats internationaux montrant un ralentissement dans l'accroissement du taux d'incidence. Les résultats ne confirment pas dans cette population l'augmentation de l'incidence précédemment décrite chez les enfants âgés de moins de 5 ans. Une étude sur l'incidence du DT1 à partir des bases de données médico-administratives sur les mêmes années permettrait de valider l'exhaustivité du recueil de données via le logiciel RegiDiab®. Le projet RegiDiab® vise à mettre en activité le premier registre régional en France depuis le début des années 2000, qui permettrait un suivi épidémiologique et de cohorte du DT1 en pédiatrie, diffusable dans d'autres régions, indispensable pour une meilleure connaissance de la pathologie. ■

Remerciements

Nous remercions Bertrand Gagnière (Santé publique France – Bretagne) et Pierre Gary-Bobo (CHRU Rennes).

Liens d'intérêt

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt au regard du contenu de l'article.

Références

- [1] Mayer-Davis EJ, Kahkoska AR, Jefferies C, Dabelea D, Balde N, Gong CX, *et al.* ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2018: Definition, epidemiology, and classification of diabetes in children and adolescents. *Pediatr Diabetes*. 2018;19(Suppl 27):7-19.
- [2] Charkaluk ML, Czernichow P, Lévy-Marchal C. Incidence data of childhood-onset type 1 diabetes in France during 1988-1997: The case for a shift toward younger age at onset. *Pediatric Research*. 2002;52(6):859-62.
- [3] Piffaretti C, Mandereau-Bruno L, Guilmin-Crepon S, Choleau C, Coutant R, Fosse-Edorh S. Trends in childhood type 1 diabetes incidence in France, 2010-2015. *Diabetes Res Clin Pract*. 2019;149:200-7.
- [4] Green A, Patterson CC, EURODIAB TIGER Study Group. Europe and Diabetes. Trends in the incidence of childhood-onset diabetes in Europe 1989-1998. *Diabetologia*. 2001;44(Suppl 3):B3-8.
- [5] Piffaretti C, Mandereau-Bruno L, Guilmin-Crepon S, Choleau C, Coutant R, Fosse-Edorh S. Incidence du diabète de type 1 chez l'enfant en France en 2013-2015, à partir du système national des données de santé (SNDS). Variations régionales. *Bull Epidémiol Hebd*. 2017;(27-28):571-8. http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2017/27-28/2017_27-28_1.html
- [6] Barat P, Valade A, Brosselin P, Alberti C, Maurice-Tison S, Lévy-Marchal C. The growing incidence of type 1 diabetes in children: The 17-year French experience in Aquitaine. *Diabetes Metab*. 2008;34(6 Pt1):601-5.
- [7] Parviainen A, But A, Siljander H, Knip M, the Finnish Pediatric Diabetes Register. Decreased incidence of type 1 diabetes in young Finnish Children. *Diabetes Care*. 2020;43(12):2953-8.
- [8] Haynes A, Bulsara MK, Jones TW, Davis EA. Incidence of childhood onset type 1 diabetes in Western Australia from 1985 to 2016: Evidence for a plateau. *Pediatr Diabetes*. 2018;19(4):690-2.
- [9] Skriverhaug T, Stene LC, Drivvoll AK, Strøm H, Jøner G; Norwegian Childhood Diabetes Study Group. Incidence of type 1 diabetes in Norway among children aged 0-14 years between 1989 and 2012: Has the incidence stopped rising? Results from the Norwegian Childhood Diabetes Registry. *Diabetologia*. 2014;57(1):57-62.
- [10] Berhan Y, Waernbaum I, Lind T, Möllsten A, Dahlquist G. Thirty years of prospective nationwide incidence of childhood type 1 diabetes: The accelerating increase by time tends to level off in Sweden. *Diabetes*. 2011;60(2):577-81.
- [11] Roche EF, McKenna AM, Ryder KJ, Brennan AA, O'Regan M, Hoey HM. Is the incidence of type 1 diabetes in children and adolescents stabilising? The first 6 years of a National Register. *Eur J Pediatr*. 2016;175(12):1913-9.
- [12] Patterson CC, Harjutsalo V, Rosenbauer J, Neu A, Cinek O, Skriverhaug T, *et al.* Trends and cyclical variation in the incidence of childhood type 1 diabetes in 26 European centres in the 25 years period 1989-2013: A multicentre prospective registration study. *Diabetologia*. 2019;62(3):408-17.
- [13] Cherubini V, Grimsmann JM, Åkesson K, Birkebæk NH, Cinek O, Dovč K, *et al.* Temporal trends in diabetic ketoacidosis at diagnosis of paediatric type 1 diabetes between 2006 and 2016: Results from 13 countries in three continents. *Diabetologia*. 2020;63(8):1530-41.
- [14] Choleau C, Maitre J, Filipovic Pierucci A, Elie C, Barat P, Bertrand AM, *et al.* Ketoacidosis at diagnosis of type 1 diabetes in French children and adolescents. *Diabetes Metab*. 2014;40(2):137-42.

[15] Haute Autorité de santé : Guide – Affection de longue durée. Diabète de type 1 de l'enfant et de l'adolescent. Saint-Denis La Plaine: HAS; 2007. 12 p. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/ald8_guidemedecin_diabetepe_diatrie_revunp_vuud.pdf

[16] Mandereau-Bruno L, Denis P, Fagot-Campagna A, Fosse-Edorh S. Prévalence du diabète traité pharmacologiquement et disparités territoriales en France en 2012. *Bull Epidémiol Hebd.* 2014;(30-31):493-9. http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2014/30-31/2014_30-31_1.html

[17] Große J, Hornstein H, Manuwald U, Kugler J, Glauche I, Rothe U. Incidence of diabetic ketoacidosis of new-onset type 1 diabetes in children and adolescents in different countries correlates with Human Development Index (HDI): An updated systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Horm Metab Res.* 2018;50(03):209-22.

[18] Boulard S, At L, Llanas B, Barat P. Caractéristiques épidémiologiques des enfants de moins de 15 ans pris en charge à l'hôpital des enfants de Bordeaux de 1998 à 2002 devant la découverte d'un diabète de type 1. *Arch Pediatr.* 2007; 14(2):198-9.

[19] Choleau C, Maitre J, Elie C, Barat P, Bertrand AM, de Kerdanet M, *et al.* Effet à un an de la campagne nationale de prévention de l'acidocétose au moment du diagnostic de diabète de type 1 chez l'enfant et l'adolescent. *Arch Pediatr.* 2015;22(4):343-51.

Citer cet article

Le Gall M, Nivot S, Guitteny MA, Saade MB, Bourdet K, Marques C, *et al.* Incidence, prévalence et circonstances de découverte du diabète de type 1 chez l'enfant en Bretagne entre 2017 et 2019. *Bull Epidémiol Hebd.* 2021;(13):226-32. http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2021/13/2021_13_1.html

> ARTICLE // Article

IMPACT DE LA POLLUTION DE L'AIR AMBIANT SUR LA MORTALITÉ EN FRANCE MÉTROPOLITAINE : RÉDUCTION EN LIEN AVEC LE CONFINEMENT DU PRINTEMPS 2020 ET IMPACT À LONG TERME POUR LA PÉRIODE 2016-2019

// IMPACT OF AIR POLLUTION ON MORTALITY IN METROPOLITAN FRANCE: REDUCTION RELATED TO THE SPRING 2020 LOCKDOWN AND LONG-TERM IMPACT FOR 2016-2019

Lucie Adélaïde¹ (lucie.adelaide@santepubliquefrance.fr), Sylvia Medina¹, Véréne Wagner¹, Perrine de Crouy-Chanel¹, Elsa Real², Augustin Colette², Florian Couvidat², Bertrand Bessagnet³, Maxime Alter⁴, Amélie Durou¹, Sabine Host⁵, Marion Hulin¹, Magali Corso¹, Mathilde Pascal¹

¹ Santé publique France, Saint-Maurice

² Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), Verneuil-en-Halatte

³ Centre technique de référence en matière de pollution atmosphérique (Citepa), Paris

⁴ Air Climat Énergie Santé (Atmo Grand Est), Schiltigheim

⁵ Observatoire régional de santé Île-de-France (ORS), Paris

Soumis le 30.03.2021 // Date of submission: 03.30.2021

Résumé // Abstract

Contexte – La réduction des activités socioéconomiques liée au confinement adopté pour limiter la propagation de la Covid-19 au printemps 2020 a conduit à des diminutions des concentrations de polluants dans l'air ambiant.

Méthodes – La méthode d'évaluation quantitative d'impact sur la santé (EQIS) a été utilisée pour estimer l'impact sur la mortalité de la population française en termes de : 1/ à court terme et à plus long terme, conséquences des réductions des niveaux de particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) et du dioxyde d'azote (NO₂) durant le confinement, et 2/ à long terme, estimation du poids total de la pollution sur la période 2016-2019.

Résultats – La limitation des activités socioéconomiques au printemps 2020 a entraîné une réduction de l'exposition de la population française au NO₂ et aux particules fines qui a permis d'éviter environ 2 300 décès en lien avec les PM et près de 1 200 en lien avec le NO₂.

L'impact à long terme de la pollution sur la mortalité est estimé à près de 40 000 décès annuels en lien avec les PM_{2,5} et à près de 7 000 décès attribuables à l'exposition au NO₂.

Conclusion – Ces résultats constituent une nouvelle illustration confirmant que même des actions publiques à court-terme de réduction des sources de pollution de l'air conduisent à des bénéfices immédiats en termes d'exposition de la population et d'impact sur la santé. Les actions publiques, autres que le confinement qui n'est évidemment pas souhaitable, constituent ainsi un levier efficace pour améliorer la qualité de l'air ambiant et la santé de la population. De plus, les résultats soulignent que, sur le long terme, la mortalité en lien avec la pollution de l'air demeure un facteur de risque conséquent en France et que les efforts de réduction de la pollution doivent être poursuivis durablement sur toutes les sources, avec une transition adaptée mais néanmoins ambitieuse.

Background – The reduction of socioeconomic activities related to the spring 2020 lockdown implemented to limit the spread of COVID-19 in France led to decreases in air pollutant concentrations.

Methods – The quantitative health impact assessment method was used to estimate the impact on mortality of the French population: 1/ in the short- and longer term, impacts of the decreases in particulate matter (PM₁₀ and PM_{2,5}) and nitrogen dioxide (NO₂) levels observed during the lockdown; and 2/ in the long term, impact on the total burden for the years 2016-2019.

Results – The limiting of socioeconomic activities in the spring of 2020 reduced NO₂ and PM population's exposures that resulted in 2,300 deaths avoided in relation to PM and nearly 1,200 in relation to NO₂. The long-term impact of air pollution on mortality is estimated at nearly 40,000 annual deaths attributable to PM_{2,5} exposure and nearly 7,000 deaths attributable to NO₂ exposure.

Conclusion – These results show that short-term reductions in air pollution levels are associated with rapid, measurable health benefits. They confirm that even short-term public actions that reduce air pollution levels (different from lockdown, which is obviously not desirable) appear to have a significant impact on health. Moreover, the results underline that on the long-term, although mortality related to ambient air pollution shows a slight downward trend, it remains a significant risk factor in France. Therefore, efforts to reduce air pollution and associated mortality must be pursued lastingly for all sources of air pollution through tailored, ambitious policies.

Mots-clés : Confinement, Covid-19, EQIS, Pollution de l'air ambiant, Mortalité

// **Keywords:** Lockdown, COVID-19, QHIA, Air Pollution, Mortality

Introduction

Afin d'endiguer la propagation du SARS-CoV-2, les autorités françaises ont pris des mesures de confinement totalement inédites au printemps 2020, conduisant à un ralentissement massif des activités économiques et sociales en France. Ces mesures ont eu pour conséquences indirectes des réductions locales et ponctuelles de certains facteurs de risques environnementaux, comme par exemple le bruit en ville, ou les concentrations de certains polluants dans l'air¹⁻³. Les études analysant la qualité de l'air en France au printemps 2020^{(1),(2),(3)} suggèrent notamment des diminutions marquées des concentrations moyennes quotidiennes de NO₂ et plus modérées pour les particules fines (PM₁₀ et PM_{2,5}).

Cette étude présente une estimation des impacts sur la santé attribuables à la baisse des niveaux de pollution en lien avec les mesures de confinement adoptées en France métropolitaine au printemps 2020.

Pour mettre en perspective ces résultats, et afin d'actualiser les estimations publiées en 2016⁴, une évaluation du fardeau que représente à long terme la pollution de l'air ambiant sur la mortalité annuelle en France métropolitaine pour la période 2016-2019 a également été réalisée.

Méthode

Trois évaluations quantitatives d'impact sur la santé (EQIS) ont été réalisées en s'appuyant sur les recommandations du guide EQIS de la pollution de l'air ambiant (EQIS-PA) de Santé publique France, publié en 2019⁵. Elles ont estimé les impacts sur la mortalité de l'exposition aux particules (PM) et au NO₂, à partir

de scénarios permettant de calculer : les bénéfices à court et plus long terme des baisses observées en lien avec le confinement, et les impacts à long terme de l'exposition chronique sur la période 2016-2019.

La méthode est résumée ci-après, et présentée en détail dans le rapport d'étude^{5,6}. Les principaux éléments utilisés dans chaque EQIS sont résumés dans le tableau 1.

Zone et périodes d'étude

Les analyses ont été réalisées à l'échelle communale. Pour étudier les effets à court terme (survenant dans les quelques jours suivant l'exposition) du confinement, plusieurs périodes correspondant à la mise en place des mesures de confinement ont été examinées : le confinement strict (du 16 mars au 11 mai 2020) et le déconfinement progressif (du 11 mai au 22 juin 2020). Pour les effets à plus long terme (survenant plusieurs mois après l'exposition), une période d'un an a été prise en compte, de juillet 2019 à juin 2020. Enfin, pour l'impact à long terme, quatre années pendant lesquelles il n'y a pas eu d'évènement sanitaire ou environnemental majeur, comme celui de la canicule de 2003 par exemple, ont été sélectionnées (tableau 1).

Choix des relations concentration-risque

Les EQIS ont considéré des relations log-linéaires entre l'exposition aux polluants et la mortalité, caractérisées par des relations concentration-risque ou risques relatifs (RR). Ces RR, et leurs intervalles de confiance à 95% (IC95%), ont été choisis dans la littérature en privilégiant, lorsque cela a été possible, les études issues de méta-analyses et valorisant des données françaises (tableau 1). Elles sont conformes aux recommandations des guides EQIS-PA⁵.

Nous avons sélectionné des polluants liés à des sources sur lesquelles il est facilement possible d'agir, à savoir les particules (liées au trafic, à l'industrie, au chauffage résidentiel et aux épandages agricoles au printemps) et le NO₂ (principalement lié au trafic routier).

⁽¹⁾ <https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/confinement-environnement-nouvel-outil-visualiser-quotidiennement-effets>

⁽²⁾ <https://atmo-france.org/covid-19-focus-sur-lexposition-des-riverains-a-la-pollution-automobile-pres-des-grands-axes-avant-pendant-le-confinement-21-avril-2020/>

⁽³⁾ <https://atmo-france.org/les-bilans-regionaux-de-limpact-du-covid-19-sur-la-qualite-de-lair/>

Indicateurs de santé

Les données journalières de mortalité non accidentelle tous âges pour l'impact à court terme, et les données de mortalité totale annuelle toutes causes chez les 30 ans et plus ont été obtenues à l'échelle communale auprès du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc-Inserm) pour les années les plus récentes disponibles (2014-2016) (tableau 1).

Évaluation de l'exposition

Les concentrations des polluants dans l'air ont été modélisées par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) en utilisant une adaptation des émissions nationales pendant les périodes de confinement réalisée par le Centre interprofessionnel technique d'études la pollution atmosphérique (Citepa) sur la base des estimations du Service Copernicus de surveillance de l'atmosphère¹⁰. Cette modélisation a été réalisée sur une grille utilisant des mailles de 4 km x 4 km couvrant la France à l'aide du modèle de chimie-transport

CHIMERE^{6,11}. Cette résolution est suffisante pour caractériser les concentrations de fond des principaux centres urbains. En effet, la méthodologie utilisée pour produire des concentrations simulées (combinaison du modèle et des concentrations observées à une résolution de 4 km) a été évaluée sur la période 2000-2015 par comparaison avec les données de mesures *in situ*. Comme les informations des stations de mesure sont utilisées pour produire les concentrations, une méthode de validation croisée est utilisée. Les scores ruraux et urbains sont calculés séparément. De très bons scores sont obtenus sur les stations urbaines pour les NO₂, PM₁₀, PM_{2,5} et O₃ avec une corrélation de Pearson supérieure à 0,77 et des biais moyens qui ne dépassent pas 5% des concentrations. Ces scores montrent la capacité de la méthode à produire des données représentatives des concentrations de fond urbaines¹².

Enfin, les concentrations modélisées sont combinées aux observations de terrain pour limiter les biais systématiques du modèle, donc les incertitudes.

Tableau 1

Scénarios, périodes d'étude et choix des risques relatifs

EQIS	Périodes d'étude	Indicateurs de mortalité	Classes d'âge	Risques relatifs pour une augmentation de 10 µg/m ³ [IC95%]	Références
Impact sur la mortalité lié à la baisse des concentrations de polluants de l'air occasionnée par les restrictions d'activité en lien avec la Covid-19 au printemps 2020	Confinement strict : 16 mars au 11 mai 2020	Mortalité Non-accidentelle	Tous âges	PM ₁₀ : 1,0030 [1,0013-1,0047]	Liu <i>et al.</i> 2019 ^b [7]
	Déconfinement progressif : 11 mai au 22 juin 2020	Code CIM-10 : A00-R99		NO ₂ : 1,0075 [1,0040-1,011]	Corso <i>et al.</i> 2020 [8]
	Période totale : 16 mars au 22 juin 2020				
	1 ^{er} juillet 2019 au 30 juin 2020	Mortalité Totale	≥30 ans	PM _{2,5} : 1,15 [1,05-1,25]	Pascal <i>et al.</i> 2016 [4]
		Code CIM-10 : A00-Y98		NO ₂ : 1,023 [1,008-1,037]	COMEAP 2018 [9]
Impact à long terme de la pollution de l'air ambiant entre 2016 et 2019 (hors contexte des mesures prises pour limiter la propagation de la Covid-19)	1 ^{er} janvier 2016 au 31 décembre 2019 (période de 4 ans la plus récente avec des données disponibles)	Mortalité Totale	≥30 ans	PM _{2,5} : 1,15 [1,05-1,25]	Pascal <i>et al.</i> 2016 [4]
		Code CIM-10 : A00-Y98		NO ₂ : 1,023 [1,008-1,037]	COMEAP 2018 [9]

^a Le Déconfinement progressif correspond à une reprise progressive de l'activité à la suite du confinement strict.

^b Par rapport à l'étude indiquée en référence, les RR reportés ici ne prennent en compte dans la méta-analyse que ceux des pays occidentaux (Canada, République tchèque, Estonie, Finlande, France, Allemagne, Grèce, Italie, Portugal, Espagne, Suède, Suisse, Royaume-Uni et États-Unis) et non l'ensemble des pays de l'étude.

EQIS : Évaluation quantitative d'impact sur la santé ; CIM-10 : Classification internationale des maladies – 10^e révision ; IC95% : intervalle de confiance à 95%.

L'estimation des expositions journalières et annuelles à la commune a été réalisée à partir des concentrations modélisées moyennes pondérées par la population.

Un premier jeu de simulation a permis d'estimer la baisse des concentrations journalières de NO_2 , PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ attribuables aux mesures de confinement, tenant compte des impacts de ces mesures sur les émissions de polluants de l'air¹⁰. Les impacts sont calculés à partir de la différence entre l'exposition effective de la population pendant les périodes de confinement strict et de déconfinement progressif, et l'exposition qui aurait été observée en l'absence de ces mesures de confinement. L'impact à court terme a été étudié sur les PM_{10} et le NO_2 , l'impact à long terme sur les $\text{PM}_{2,5}$ et le NO_2 .

Un second jeu de simulation a permis d'estimer les concentrations annuelles moyennes de NO_2 et $\text{PM}_{2,5}$ sur la période 2016-2019. Là encore, les modélisations CHIMERE ont été corrigées sur la base d'observations de terrain remontées par les AASQA (Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air) par une méthode géostatistique d'interpolation spatiales des données (krigeage) développée par le LCSQA (Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air)^{13,14}.

Seuils de référence retenus pour estimer l'impact à long terme de la pollution de l'air ambiant en France métropolitaine

L'impact à long terme de la pollution de l'air ambiant en France est estimé par rapport à des valeurs de référence correspondant à une situation sans source anthropique de polluants. En l'absence de modèle permettant d'estimer ces valeurs, nous avons retenu les valeurs de référence de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$ et de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 . Concernant les $\text{PM}_{2,5}$, il s'agit d'une valeur très proche de celle utilisée dans l'EQIS précédemment réalisée par Santé publique France⁴, qui avait retenu une référence de $4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour le NO_2 , cette valeur correspond au niveau choisi pour l'analyse de sensibilité réalisée par l'Agence européenne de l'environnement (AEE), sur la base de la publication de Raaschou-Nielsen et coll.¹⁵. Le niveau d'exposition considéré dans l'EQIS correspond à la différence entre l'exposition moyenne annuelle estimée sur la période 2016-2019 et le seuil retenu (cette différence étant nulle si la concentration est déjà inférieure au seuil).

Analyses de sensibilité

Deux sources d'incertitude et de variabilité de l'EQIS, qui font l'objet de débats dans la communauté scientifique, ont été considérées ici :

- L'utilisation de RR [IC95%] alternatifs à partir de RR issus de deux méta-analyses récentes réalisées pour la révision des valeurs guides de l'OMS (Organisation mondiale de la santé) pour les $\text{PM}_{2,5}$ ($1,07 [1,03-1,11]$)¹⁶ et le NO_2 ($1,02 [1,01-1,04]$)¹⁷.

- L'utilisation de seuils de référence alternatifs pour le scénario « impact à long terme pour la période 2016-2019 » avec des seuils de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$ (seuils utilisés par l'AEE pour estimer l'impact à long terme de la pollution en France)¹⁸ et des seuils de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 .

Résultats

Pour les calculs de l'EQIS, ont été utilisés sur la période 2014-2016 : 1/ le nombre moyen quotidien de décès, toutes causes non accidentelles, qui est de 1 453 ; et 2/ le nombre moyen annuel de décès toutes causes de personnes âgées de 30 ans et plus qui est de 561 953.

Impacts de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité en lien avec le confinement du printemps 2020

Impact à court terme

En moyenne, sur la période du confinement strict (du 16 mars au 11 mai 2020) et selon les communes, la différence entre le niveau estimé en PM_{10} et sa référence estimée sans confinement variait entre $-8,6$ et $-0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et entre $-30,8$ et $-0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 , avec des pourcentages de réduction moyens respectifs de 12,5% et 44,7% (tableau 2). Sur cette période, les baisses de NO_2 ont permis d'éviter 243 [130 ; 357] décès et les baisses de PM_{10} , 61 [26 ; 97] décès (soit respectivement 0,3% et 0,08% de la mortalité totale annuelle), dont environ la moitié se concentrait dans les communes appartenant à une unité urbaine de plus de 100 000 habitants.

La période de déconfinement progressif (du 11 mai au 22 juin 2020) était caractérisée par une baisse des concentrations en polluants moins importante que durant le confinement strict, avec un gradient d'exposition positif entre les communes identifiées comme « rurales » et celles identifiées comme « urbaines » toujours plus marqué pour le NO_2 que pour les PM_{10} (tableau 2). Pour cette période, 39 [16 ; 61] décès ont été évités grâce aux baisses de concentrations en NO_2 et 8 [1 ; 14] décès grâce aux baisses de concentrations en PM_{10} , représentant respectivement 0,1% et 0,01% de la mortalité totale annuelle.

Impact à plus long terme

En moyenne pour la période allant du 1^{er} juillet 2019 au 30 juin 2020, la différence entre les concentrations annuelles sans confinement et celles avec confinement pour les $\text{PM}_{2,5}$ en France métropolitaine variait, selon les communes, entre $-0,9$ et $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et entre $-7,0$ et $-0,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 , avec des pourcentages de réduction moyens respectifs de 2,4% et 7,8% (tableau 2). Un gradient d'exposition positif allant des zones rurales aux zones urbaines de plus de 100 000 habitants et plus marqué pour le NO_2 que pour les $\text{PM}_{2,5}$ était également observé.

Tableau 2

Différences moyennes journalières et pourcentages de réduction [min ; max] par période, par polluant et par classe d'urbanisation en France métropolitaine du 16 mars au 22 juin 2020 et du 1^{er} juillet 2019 au 30 juin 2020

Classes d'urbanisation	Confinement strict (A) (16 mars au 11 mai 2020)		Déconfinement progressif (B) (11 mai au 22 juin 2020)		Période totale (A+B) (16 mars au 22 juin 2020)		Annuelle (1 ^{er} juillet 2019 au 30 juin 2020)	
	Différence moyenne journalière (µg/m ³)	Pourcentage de réduction (%)	Différence moyenne journalière (µg/m ³)	Pourcentage de réduction (%)	Différence moyenne journalière (µg/m ³)	Pourcentage de réduction (%)	Différence moyenne journalière (µg/m ³)	Pourcentage de réduction (%)
PM₁₀								
Rurales (<2 000 habitants)	-2,4 [-4,9 ; -0,1]	12,4 [-1,1 ; 29,0]	-0,4 [-1,6 ; 0,6]	2,9 [-5,4 ; 11,0]	-1,5 [-3,2 ; 0,1]	8,3 [-1,8 ; 19,5]	/	/
Semi-rurales (de 2 000 à 20 000 habitants)	-2,4 [-4,6 ; -0,1]	12,3 [-0,2 ; 26,1]	-0,4 [-1,3 ; 0,4]	2,7 [-3,9 ; 9,2]	-1,5 [-3,0 ; 0,1]	8,1 [-1,8 ; 16,9]	/	/
Semi-urbaines (de 20 000 à 100 000 habitants)	-2,4 [-4,7 ; -0,1]	12,4 [-0,2 ; 25,7]	-0,4 [-1,4 ; 0,4]	2,5 [-3,9 ; 9,7]	-1,5 [-3,0 ; 0,1]	8,1 [-1,8 ; 16,6]	/	/
Urbaines (>100 000 habitants)	-2,7 [-8,6 ; -0,1]	13,1 [-0,6 ; 44,9]	-0,4 [-4,4 ; 0,7]	2,5 [-7,1 ; 33,1]	-1,7 [-6,7 ; 0,1]	8,5 [-1,7 ; 39,8]	/	/
France métropolitaine	-2,4 [-8,6 ; -0,1]	12,5 [-1,1 ; 44,9]	-0,4 [-4,4 ; 0,7]	2,8 [-7,1 ; 33,1]	-1,5 [-6,7 ; 0,1]	8,3 [-1,8 ; 39,8]	/	/
NO₂								
Rurales (<2 000 habitants)	-3,0 [-12,8 ; -0,3]	43,5 [6,9 ; 181,2]	-0,5 [-5,6 ; 0,1]	8,1 [-1,6 ; 99,1]	-1,9 [-8,7 ; -0,2]	28,1 [3,5 ; 121,7]	-0,5 [-2,3 ; -0,04]	7,6 [1,0 ; 32,9]
Semi-rurales (de 2 000 à 20 000 habitants)	-3,5 [-11,8 ; -0,3]	48,1 [7,7 ; 122,2]	-0,6 [-4,8 ; 0,1]	9,2 [-1,0 ; 78,5]	-2,3 [-8,3 ; -0,2]	31,2 [4,4 ; 97,8]	-0,6 [-2,2 ; -0,05]	8,4 [1,2 ; 26,4]
Semi-urbaines (de 20 000 à 100 000 habitants)	-3,8 [-10,7 ; -0,9]	49,7 [15,2 ; 127,8]	-0,7 [-3,6 ; 0,04]	9,5 [-0,8 ; 43,0]	-2,5 [-7,6 ; -0,6]	32,2 [9,6 ; 89,9]	-0,7 [-2,1 ; -0,2]	8,7 [2,6 ; 24,3]
Urbaines (>100 000 habitants)	-5,1 [-30,8 ; -1,3]	52,7 [21,4 ; 214,8]	-1,0 [-19,6 ; -0,04]	11,3 [-0,2 ; 150,3]	-3,3 [-25,9 ; -0,8]	34,7 [13,7 ; 186,8]	-0,9 [-7,0 ; -0,2]	9,4 [3,7 ; 50,5]
France métropolitaine	-3,2 [-30,8 ; -0,3]	44,7 [6,9 ; 214,8]	-0,6 [-19,6 ; 0,1]	8,4 [-1,6 ; 150,3]	-2,1 [-25,9 ; -0,2]	29,0 [3,5 ; 187,8]	-0,6 [-7,0 ; -0,04]	7,8 [1,0 ; 50,5]
PM_{2,5}								
Rurales (<2 000 habitants)	/	/	/	/	/	/	-0,3 [-0,6 ; 0,01]	2,4 [-0,6 ; 5,3]
Semi-rurales (de 2 000 à 20 000 habitants)	/	/	/	/	/	/	-0,3 [-0,6 ; 0,01]	2,3 [-0,6 ; 4,5]
Semi-urbaines (de 20 000 à 100 000 habitants)	/	/	/	/	/	/	-0,3 [-0,6 ; 0,01]	2,3 [-0,6 ; 4,4]
Urbaines (>100 000 habitants)	/	/	/	/	/	/	-0,3 [-0,9 ; 0,002]	2,4 [-0,5 ; 8,9]
France métropolitaine	/	/	/	/	/	/	-0,3 [-0,9 ; 0,01]	2,4 [-0,6 ; 8,9]

Ces baisses correspondent à une diminution de la mortalité attribuable aux PM_{2,5} de 2 274 [793 ; 3 636] décès et de 893 [313 ; 1 427] décès pour le NO₂, représentant respectivement 0,4% et 0,2% de la mortalité totale annuelle (figure 1). Environ la moitié de cette baisse de mortalité se concentre dans les communes appartenant à une unité urbaine de plus de 100 000 habitants.

Impact à long terme sur la mortalité de la pollution de l'air ambiant entre 2016 et 2019 (hors contexte des mesures prises pour limiter la propagation de la Covid-19)

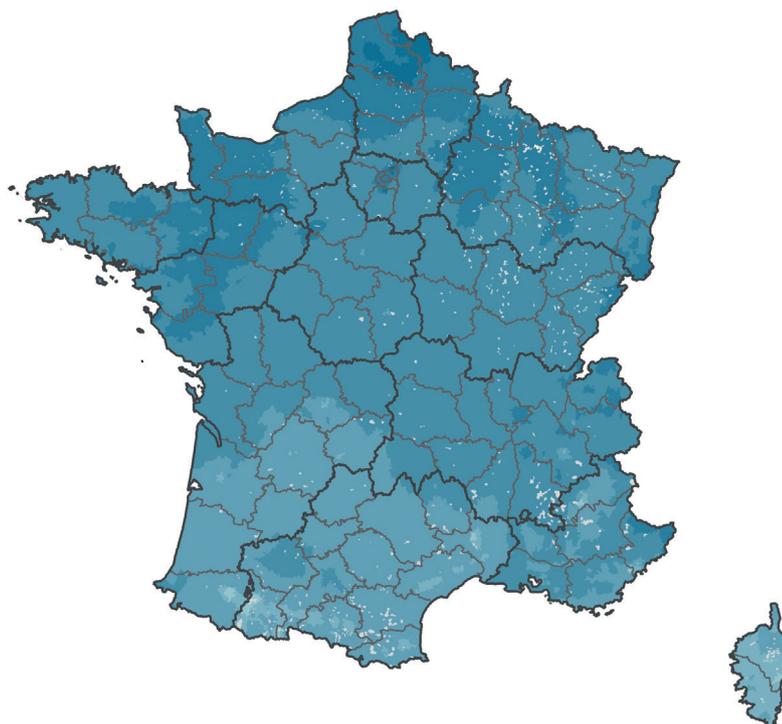
Pour la période du 1^{er} janvier 2016 au 31 décembre 2019, selon les communes, les moyennes annuelles de PM_{2,5} variaient de 6,6 à 14,4 µg/m³, et de 7,4 à 34,3 µg/m³

pour le NO₂. Les concentrations moyennes étaient plus faibles dans les communes rurales que dans les communes plus urbanisées, avec un gradient moins marqué pour les PM_{2,5} que pour le NO₂.

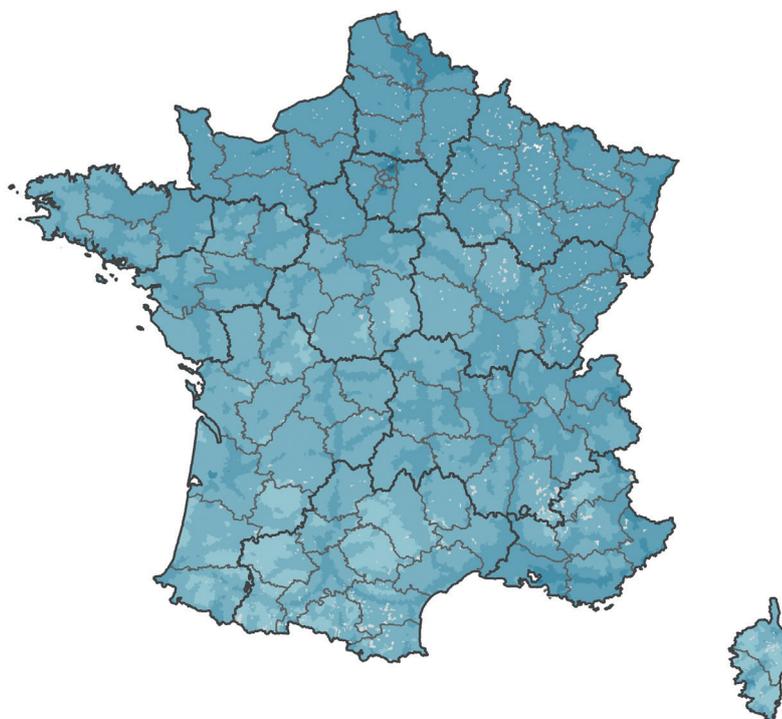
En considérant le même RR (1,15 [1,05 ; 1,25]) et seuil (de 5 µg/m³) que ceux utilisés pour l'étude réalisée en 2016 pour les PM_{2,5}, ainsi qu'un seuil de 10 µg/m³ pour le NO₂, comme référence pour une pollution d'origine anthropique, 39 541 [14 160 ; 61 690] décès seraient évitables chaque année pour une baisse de l'exposition de la population aux PM_{2,5}, et 6 790 [2 400 ; 10 763] décès pour une baisse de l'exposition de la population au NO₂, représentant respectivement 7% et 1% de la mortalité totale annuelle. Ceci représenterait en moyenne 7,6 mois d'espérance de vie gagnés en raison d'une baisse de l'exposition

Figure 1

Impact de la diminution des concentrations en $PM_{2,5}$ et NO_2 sur la mortalité annuelle à l'échelle communale du 1^{er} juillet 2019 au 30 juin 2020 en France métropolitaine (en %)



Baisse de la mortalité liée à la diminution des concentrations en $PM_{2,5}$ (en %)



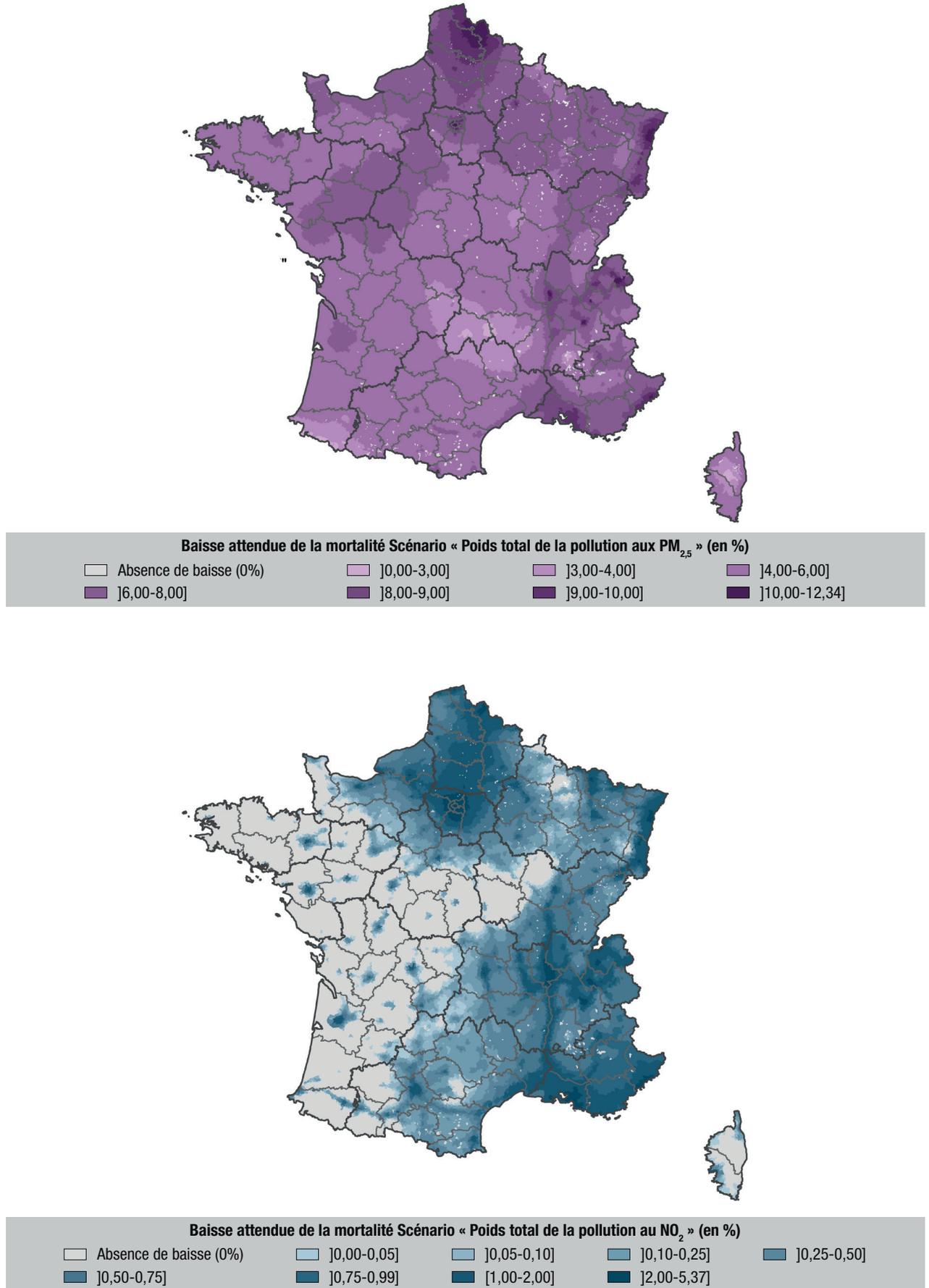
Baisse de la mortalité liée à la diminution des concentrations en NO_2 (en %)



Source : Ing-Admin Express, 2018 ; Santé publique France, 2020.

Figure 2

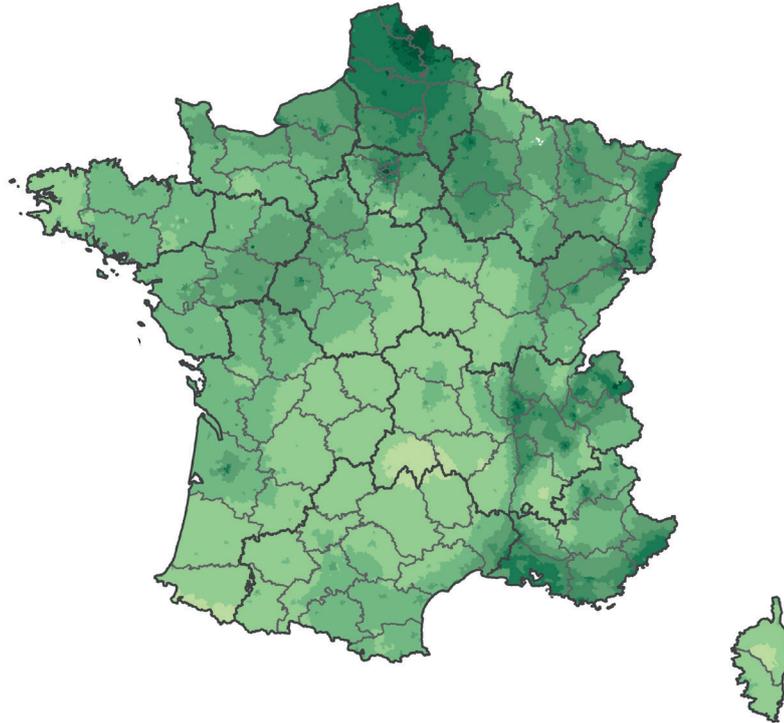
Impact à long terme de l'exposition aux $PM_{2,5}$ et au NO_2 sur la mortalité de la population âgée de 30 ans et plus à l'échelle communale, du 1^{er} janvier 2016 au 31 décembre 2019 en France métropolitaine (en %)



Source : Ing-Admin Express, 2018 ; Santé publique France, 2020.

Figure 3

Impact à long terme de l'exposition aux PM_{2,5} sur l'espérance de vie de la population âgée de 30 ans et plus à l'échelle communale, du 1^{er} janvier 2016 au 31 décembre 2019 en France métropolitaine (en mois)



Gain attendu en espérance de vie Scénario « Poids total de la pollution aux PM_{2,5} » (en mois)

[1,96-3,00]]3,00-5,00]]5,00-6,00]]6,00-7,00]
]7,00-8,00]]8,00-10,00]]10,00-11,00]]11,00-15,00]

Source : Ing-Admin Express, 2018 ; Santé publique France, 2020.

aux PM_{2,5}, et 1,6 mois en raison d'une baisse de l'exposition au NO₂, pour les personnes âgées de 30 ans et plus. Une part importante de cet impact en termes de mortalité et de nombre d'années de vie gagnées se concentre dans les communes appartenant à une unité urbaine de plus de 100 000 habitants (43% pour les PM_{2,5} et 52% pour le NO₂ pour la mortalité ; 58% pour les PM_{2,5} et 64% pour le NO₂ pour le nombre d'années de vie gagnées) (figures 2 et 3).

Discussion

Au total, les bénéfices sanitaires liés à l'amélioration de la qualité de l'air ambiant durant le confinement du printemps 2020 peuvent être estimés à environ 2 300 décès évités en lien avec une diminution de l'exposition de la population française aux PM, et 1 200 au NO₂, majoritairement dus à des effets à plus long terme (diminution de la contribution de la pollution au développement de pathologies conduisant au décès), et dans une moindre mesure à des effets à court terme (décompensation de pathologies préexistantes). Il s'agit d'un ordre de grandeur, en soulignant que les effets du NO₂ et des PM ne peuvent être sommés intégralement, une partie des décès pouvant être attribuée à l'exposition conjointe à ces deux indicateurs de pollution.

Pour mettre en perspective ces estimations liées aux baisses de concentrations du printemps 2020,

l'impact à long terme de la pollution de l'air ambiant sur la période 2016-2019 a été estimé à près de 40 000 décès par an en lien avec une exposition de la population aux PM_{2,5}, et à près de 7 000 décès par an pour le NO₂.

Ces résultats représentent un ordre de grandeur des impacts sanitaires de la pollution de l'air ambiant. Ils sont associés à plusieurs sources d'incertitudes (cartographie de la pollution, hypothèses concernant l'influence du confinement sur les émissions, choix des risques relatifs...). Par ailleurs, ne considérant que deux indicateurs de pollution, et uniquement la mortalité, ils représentent une estimation *a minima* des effets de la pollution sur la santé.

Impacts des baisses de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en lien avec le confinement du printemps 2020

Résultats d'EQIS au niveau international

Dans l'ensemble, notre étude est cohérente avec les résultats publiés à l'international, notamment à Séoul¹⁹, en Chine^{20,21}, en Europe²², en Californie²³ et en Italie²⁴, concernant l'effet des mesures de confinement sur les baisses des concentrations en polluants de l'air ambiant et du nombre de décès attribuables qui en découle, mais les hypothèses de calcul diffèrent ce qui limite les possibilités de comparaison.

Incertitudes liées aux indicateurs sanitaires

Pour cette étude, les données de mortalité les plus récentes disponibles ont été utilisées, soit celles sur la période 2014-2016. Ce délai de mise à disposition des données est dû au temps nécessaire au CépiDC (service assurant les procédures de codage et de validation) au traitement des données afin de garantir l'exhaustivité et la qualité des données. Certains changements dans la démographie ou l'état de santé ont pu avoir lieu entre 2014 et 2019. Cependant, les données préliminaires montrent que, durant cette période en France, la population a peu varié (de 64 à 65 millions de personnes⁽⁴⁾) de même que la mortalité (légère augmentation de 0,07%⁽⁵⁾).

Incertitudes liées à la modélisation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition à la pollution de l'air ambiant repose ici sur des modèles de qualité de l'air pour lesquels les incertitudes peuvent être rattachées soit aux données d'entrée (variabilité des données météorologiques, émissions de polluants...), soit au modèle en lui-même (capacité à bien reproduire les mécanismes physico-chimiques à l'œuvre dans l'atmosphère, résolution spatiale...). Ces incertitudes sont détaillées dans le rapport⁶.

Facteurs exceptionnels liés au confinement

La situation exceptionnelle créée par le confinement s'est traduite par une modification des conditions d'exposition de la population à la pollution extérieure, avec notamment une réduction de la mobilité, plus de temps passé dans les environnements intérieurs dont la qualité de l'air a pu se détériorer^{23,25}, dans certains cas une réduction de l'exposition au bruit² et de la mortalité routière⁽⁶⁾, des changements d'habitudes de vie et de comportements (réduction de l'activité physique, modification des habitudes alimentaires, augmentation de la consommation d'alcool et autres substances psychoactives...⁽⁷⁾), une détérioration de la santé mentale⁽⁸⁾²⁶, une baisse ou report du recours aux soins (avec un risque d'aggravation de certaines pathologies)⁽⁹⁾. Notre analyse n'a pas permis de quantifier l'influence de ces facteurs exceptionnels, néanmoins ils sont examinés qualitativement dans le rapport d'étude⁶.

⁽⁴⁾ https://www.ined.fr/fr/tout-savoir-population/graphiques-cartes/population_graphiques/

⁽⁵⁾ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2383440#tableau-figure1>

⁽⁶⁾ <https://www.onisr.securite-routiere.gouv.fr/etat-de-l-insecurite-routiere>

⁽⁷⁾ <https://www.santepubliquefrance.fr/etudes-et-enquetes/covid-19-une-enquete-pour-suivre-l-evolution-des-comportements-et-de-la-sante-mentale-pendant-l-epidemie#block-249162>

⁽⁸⁾ <https://www.santepubliquefrance.fr/etudes-et-enquetes/covid-19-une-enquete-pour-suivre-l-evolution-des-comportements-et-de-la-sante-mentale-pendant-l-epidemie>

⁽⁹⁾ <https://www.santepubliquefrance.fr/presse/2020/covid-19-et-continuite-des-soins-continuer-de-se-soigner-un-imperatif-de-sante-publique>

Impact à long terme de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité entre 2016 et 2019

Incertitudes et variabilité liées aux choix du seuil de référence et des risques relatifs

Les analyses de sensibilité combinant différents seuils de référence de pollution anthropique et RR montrent l'influence du choix de ces seuils et des RR dans les résultats d'une EQIS⁶.

Pour les PM_{2,5}, l'application d'un RR de 1,07 [1,03 ; 1,11]¹⁶ au lieu de 1,15 [1,06 ; 1,25]⁴, pour un seuil à 5 µg/m³, conduit à des estimations deux fois plus faibles (respectivement, 19 532 [8 625 ; 29 819] contre 39 541 [14 160 ; 61 690]). Pour le NO₂, l'application d'un RR de 1,02 [1,01 ; 1,04]¹⁷ au lieu de 1,023 [1,008 ; 1,037]⁹, pour un seuil à 10 µg/m³, conduit naturellement à des estimations similaires (respectivement, 5 923 [2 993 ; 11 600] contre 6 790 [2 400 ; 10 763]).

Plus le seuil de référence utilisé est faible, plus l'estimation de l'impact associé est importante. En prenant un seuil à 0 µg/m³ et un RR à 1,06 [1,04 ; 1,08] pour les PM_{2,5}, équivalent à ceux utilisés par l'AEE, les estimations sont très comparables (33 100 pour l'AEE vs 32 436 pour notre analyse)¹⁸.

Mise en perspective par rapport à l'estimation de l'impact à long terme de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité pour la période 2007-2008

Les 40 000 décès estimés pour l'impact à long terme de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité sur la période 2016-2019 peuvent être considérés en regard des 48 000 décès par an attribuables à une exposition aux PM_{2,5} pour la période 2007-2008 et publiés en 2016 avec des scénarios et RR identiques⁴. La réduction d'impact sur la santé de la pollution pourrait s'expliquer en partie par la baisse notable des concentrations des polluants atmosphériques ces dernières années²⁷. Toutefois, les deux modèles d'estimation de l'exposition utilisés sont différents. L'analyse comparative entre eux indique que les estimations de concentrations moyennes pour les PM_{2,5} sont du même ordre de grandeur dans les zones urbaines, soulignant ainsi la cohérence et la robustesse de l'estimation de l'exposition dans ces zones. À l'inverse, les différences entre les estimations pour ce même indicateur d'exposition étant plus importantes dans les zones rurales, l'incertitude y est donc plus importante⁶.

Conclusion

Ces résultats constituent une nouvelle illustration confirmant que, dans un contexte inédit, qui n'est certainement pas réaliste ni souhaitable pour améliorer la qualité de l'air à long terme, les mesures d'actions publiques apparaissent comme un levier efficace pour réduire les niveaux de pollution. Certains enseignements peuvent déjà être capitalisés en termes de mesures d'actions publiques ou de changements comportementaux (télétravail, report modal...) qui vraisemblablement sont appelés à se pérenniser au sein de la société française.

Par ailleurs, dans une mise en perspective plus large et de long terme, cette étude rappelle et souligne que, si la mortalité en lien avec la pollution de l'air ambiant présente une tendance à la baisse, l'impact à long terme de la pollution de l'air sur la santé demeure un facteur de risque conséquent et toujours d'actualité en France. Ainsi, les efforts de réduction de la pollution de l'air ambiant doivent être poursuivis durablement sur toutes les sources de pollution avec une transition adaptée, mais néanmoins ambitieuse.

Enfin, les restrictions d'activité imposées pour limiter la propagation de la Covid-19 ont eu d'autres conséquences sur la santé de la population, aussi bien positives (réduction du bruit, des accidents de la route, etc.) que négatives (santé mentale, baisse ou retard au dépistage et à l'accès aux soins, diminution de l'activité physique, augmentation de la sédentarité, etc.). Ces facteurs mettent en évidence la nécessité de prendre en compte de manière transversale les indicateurs de santé en considérant les impacts plurifactoriels des interventions, notamment d'adhésion de la population, d'impacts sur les comportements et la santé mentale et, plus largement, d'impact sur le changement climatique. ■

Remerciements

Nous remercions Atmo Grand Est (Emmanuel Rivière, Florent Vasbien) et AtmoFrance (Charlotte Lepitre) pour leur contribution aux données environnementales fournies, au protocole et à la relecture de cet article, et le Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (CépiDc-Inserm) pour les données de mortalité fournies. Nous remercions également Sylvie Cassadou (CREA-ORS Occitanie), Aymeric Ung (DMNTT, Santé publique France) et Guillaume Boulanger (DSET, Santé publique France) pour leur relecture attentive et leurs suggestions.

Liens d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêt au regard du contenu de l'article.

Références

- [1] Menut L, Bessagnet B, Siour G, Mailler S, Pennel R, Cholakian A. Impact of lockdown measures to combat Covid-19 on air quality over western Europe. *Sci Total Environ*. 2020; 741:140426.
- [2] Acoucité – Observatoire de l'environnement sonore. Confinement COVID-19 – Impact sur l'environnement sonore. 2020. 50 p. <https://www.acoucite.org/confinement-covid-19-impact-sur-lenvironnement-sonore/>
- [3] Barré J, Petetin H, Colette A, Guevara M, Peuch VH, Rouil L, et al. Estimating lockdown induced European NO₂ changes. *Atmos Chem Phys Discuss*. 2020;2020:1-28.
- [4] Pascal M, de Crouy Chanel P, Wagner V, Corso M, Tillier C, Bentayeb M, et al. The mortality impacts of fine particles in France. *Sci Total Environ*. 2016;571:416-25.
- [5] Pascal M, Yvon JM, Medina S. Pollution atmosphérique. Guide pour la réalisation d'une évaluation quantitative des impacts sur la santé (EQIS). EQIS avec une exposition modélisée. Saint-Maurice: Santé publique France; 2019. 92 p. <https://www.sante-publiquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/guide/pollution-atmospherique.-guide-pour-la-realisation-d-une-evaluation-quantitative-des-impacts-sur-la-sante-eqis.-eqis-avec-une-exposition-modelisee>
- [6] Medina S, Adélaïde L, Wagner V, de Crouy Chanel P, Real E, Colette A, et al. Impact de pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine : réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et nouvelles données pour la période 2016-2019. Saint-Maurice: Santé publique France; 2021. 64 p. <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/enquetes-etudes/impact-de-pollution-de-l-air-ambiant-sur-la-mortalite-en-france-metropolitaine.-reduction-en-lien-avec-le-confinement-du-printemps-2020-et-nouvelle>
- [7] Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *N Engl J Med*. 2019;381(8):705-15.
- [8] Corso M, Blanchard M, Medina S, Wagner V. Short-term associations of nitrogen dioxide (NO₂) on mortality in 18 French cities, 2010-2014. *Atmosphere*. 2020;11(11):1-18.
- [9] Public Health England. Committee on the Medical Effects of Air Pollutants. Associations of long-term average concentrations of nitrogen dioxide with mortality. Rapport COMEAP 2018. 152 p. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/734799/COMEAP_NO2_Report.pdf
- [10] Guevara M, Jorba O, Soret A, Petetin H, Bowdalo D, Serradell K, et al. Time-resolved emission reductions for atmospheric chemistry modelling in Europe during the COVID-19 lockdowns. *Atmos Chem Phys Discuss*. 2021;21(2):773-97.
- [11] Mailler S, Menut L, Khvorostyanov D, Valari M, Couvidat F, Siour G, et al. CHIMERE-2017: from urban to hemispheric chemistry-transport modeling. *Geosci Model Dev*. 2017;10(6): 2397-423.
- [12] Real E, Couvidat F, Ung A, Malherbe L, Raux B, Colette A. Historical reconstruction of background air pollution over France for 2000-2015. *Earth Syst. Sci. Data Discuss*. [à paraître] 2021. <https://doi.org/10.5194/essd-2021-182>
- [13] Malherbe L, Ung A. Travaux relatifs à la plate-forme nationale de modélisation PREV'AIR: Réalisation de cartes analysées d'ozone (2/2). Rapport du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA)-Ineris; 2009. <https://www.lcsqa.org/fr/rapport/2009/ineris/travaux-relatifs-plate-forme-nationale-modelisation-pre-vair-realisation-cartes->
- [14] Malherbe L, Létinois L. Assistance relative à l'exploitation de données de campagnes et à la réalisation de cartographies (2/2). Rapport Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA)-Ineris; 2010. 47 p.
- [15] Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Jensen SS, Ketzel M, Sorensen M, Hansen J, et al. Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: A Danish cohort study. *Environ Health*. 2012;11:60.
- [16] Chen J, Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 2020;143:105974.
- [17] Huangfu P, Atkinson R. Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Int*. 2020;144:105998.
- [18] European Environment Agency. Air quality in Europe – 2020 report. 2020. 164 p. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
- [19] Han C, Hong YC. Decrease in ambient fine particulate matter during COVID-19 crisis and corresponding health benefits in Seoul, Korea. *Int J Environ Res Public Health*. 2020; 17(15):5279.
- [20] Chen K, Wang M, Huang C, Kinney PL, Anastas PT. Air pollution reduction and mortality benefit during the COVID-19 outbreak in China. *Lancet Planet Health*. 2020;4(6):e210-2.

[21] Nie D, Shen F, Wang J, Ma X, Li Z, Ge P, *et al.* Changes of air quality and its associated health and economic burden in 31 provincial capital cities in China during COVID-19 pandemic. *Atmos Res.* 2021;249:105328.

[22] Giani P, Castruccio S, Anav A, Howard D, Hu W, Crippa P. Short-term and long-term health impacts of air pollution reductions from COVID-19 lockdowns in China and Europe: A modelling study. *Lancet Planet Health.* 2020;4(10):e474-82.

[23] Son JY, Fong KC, Heo S, Kim H, Lim CC, Bell ML. Reductions in mortality resulting from reduced air pollution levels due to COVID-19 mitigation measures. *Sci Total Environ.* 2020; 744:141012.

[24] Granella F, Reis LA, Bosetti V, Tavoni M. COVID-19 lockdown only partially alleviates health impacts of air pollution in Northern Italy. 2021. *Environ Res Lett.* 16(3) 03501.

[25] Hulin M, Simoni M, Viegi G, Annesi-Maesano I. Respiratory health and indoor air pollutants based on quantitative exposure assessments. *Eur Respir J.* 2012;40(4):1033-45.

[26] Escalon H, Deschamps V, Verdot C. Activité physique et sédentarité des adultes pendant la période de confinement lié à l'épidémie de Covid-19 : état des lieux et évolutions perçues (CoviPrev, 2020). *Bull Epidemiol Hebd.* 2021;(Cov_3):2-13. http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2021/Cov_3/2021_Cov_3_1.html

[27] Ministère de la Transition écologique. Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2019. Rapport 2020. 36 p. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-de-la-qualite-de-lair-exterieur-en-france-en-2019-0>

Citer cet article

Adélaïde L, Medina S, Wagner V, de Crouy-Chanel P, Real E, Colette A, *et al.* Impact de la pollution de l'air ambiant sur la mortalité en France métropolitaine : réduction en lien avec le confinement du printemps 2020 et impact à long terme pour la période 2016-2019. *Bull Epidemiol Hebd.* 2021;(13):232-42. http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2021/13/2021_13_2.html