

# L'impact de la production d'énergie sur les pathologies respiratoires : le cas de la raffinerie des Flandres

**Emmanuelle Lavaine**

DANS **ÉCONOMIE & PRÉVISION** 2016/1-2 n° 208-209 , PAGES 157 À 175

ÉDITIONS **DIRECTION GÉNÉRALE DU TRÉSOR**

ISSN 0249-4744

DOI 10.3917/ecop.208.0157

Date de mise en ligne : 06/01/2017

Article disponible en ligne à l'adresse

<https://shs.cairn.info/revue-economie-et-prevision-2016-1-page-157?lang=fr>



Découvrir le sommaire de ce numéro, suivre la revue par email, s'abonner...  
Scannez ce QR Code pour accéder à la page de ce numéro sur Cairn.info.



**Distribution électronique Cairn.info pour Direction générale du Trésor.**

Vous avez l'autorisation de reproduire cet article dans les limites des conditions d'utilisation de Cairn.info ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Détails et conditions sur [cairn.info/copyright](http://cairn.info/copyright).

Sauf dispositions légales contraires, les usages numériques à des fins pédagogiques des présentes ressources sont soumises à l'autorisation de l'Éditeur ou, le cas échéant, de l'organisme de gestion collective habilité à cet effet. Il en est ainsi notamment en France avec le CFC qui est l'organisme agréé en la matière.

# L'impact de la production d'énergie sur les pathologies respiratoires : le cas de la raffinerie des Flandres

Emmanuelle Lavaine<sup>(\*)</sup>

*L'exposition chronique de la population aux concentrations de polluants atmosphériques et les risques sanitaires associés sont au coeur du débat public. En Juin 2010, l'agence de protection américaine (EPA) a renforcé la norme nationale de qualité de l'air pour le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Les précédents seuils, annuels et sur 24 heures, ont été abrogés. En 2012, une norme complémentaire destinée à protéger l'environnement a été mise en place. À la lumière des normes américaines, l'Union européenne (UE) ne devrait-elle pas également réviser les valeurs limites pour le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) pour la protection de la santé humaine ? Les seuils actuels permettent-ils une protection efficace des populations ? Les effets du SO<sub>2</sub> sur la santé sont connus pour être associés à de faibles niveaux d'exposition (Organisation mondiale de la santé (WHO, 2005)). En raison des complexités et des incertitudes, évaluer les bénéfices et les coûts d'un renforcement des normes n'est pas une tâche facile. Des estimations économiques précises qui relient l'exposition à la pollution atmosphérique à des résultats observables sur la santé sont nécessaires (Schlenker et Walker, 2016).*

*Cet article s'insère donc dans une littérature économique récente qui cherche à mesurer l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé humaine. L'objectif de cet article est d'estimer l'impact d'une baisse définitive de la concentration en dioxyde de soufre liés au processus de raffinage du pétrole sur les admissions pour pathologies respiratoires. Les effets sanitaires de la production d'énergie sont estimés suite à la fermeture définitive de la raffinerie des Flandres dans le nord de la France en 2010. Cet article aborde une question qui présente un grand intérêt d'un point de vue des politiques publiques puisqu'il quantifie ex post les conséquences sanitaires de la suppression d'une source importante de pollution industrielle, au contraire des études médicales qui étudient le plus souvent l'impact de pics de pollution et fournissent des ordres de grandeur ex ante des effets à attendre.*

*Cette fermeture nous permet de prendre en considération les biais d'estimation présents dans la mesure des effets de la pollution sur la santé. Comparer l'état de santé des populations vivant à proximité d'un site polluant avec l'état de santé des populations vivant éloignés peut s'avérer complexe. En effet, les populations qui ont choisi d'habiter à proximité d'un site polluant ont par définition des comportements à risques qui peuvent expliquer leur mauvais état de santé. L'identification de l'impact de la fermeture de la raffinerie repose sur des différences à la fois spatiales et temporelles entre deux groupes, liées à un arrêt de la pollution. Donc l'article mesure bien l'effet de la pollution sur la population habituellement exposée à la pollution.*

(\*) Université Paris 1 Panthéon Sorbonne - Paris School of Economics - CES, Maison des Sciences Economiques.  
E-mail : emmanuelle.lavaine@umontpellier.fr

L'auteure remercie Mireille Chiroleu Assouline, Matthew Neidell et les rapporteurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions. L'auteure reste seule responsable des erreurs que pourrait comporter ce texte.

Cet article n'engage que son auteure et non les institutions auxquelles elle appartient. Il n'engage *a fortiori* ni la Direction générale du Trésor, ni le ministère de l'Économie et des Finances.

*Un modèle de doubles différences est estimé sur les données de panel des concentrations en SO<sub>2</sub> de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des risques (Ineris), appariées au niveau communal aux données des admissions hospitalières pour les établissements publics et privés de l'Agence Technique de l'Information sur l'Hospitalisation (PMSI). Dans un premier temps, l'article estime l'impact de l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres sur la concentration dans l'air du SO<sub>2</sub>. Toutes choses égales par ailleurs, l'arrêt de la raffinerie a pour effet une baisse de 5 µg/m<sup>3</sup> de la concentration dans l'air en SO<sub>2</sub> à Dunkerque. Les concentrations de pollution de l'article sont très faibles relativement à la norme d'émission. Toutefois, les résultats mettent en exergue un impact sanitaire positif et significatif de ces niveaux de concentrations. Le seuil actuel ne semble donc pas être suffisant à protéger la santé humaine.*

*Dans un deuxième temps, l'impact de cette baisse de la pollution atmosphérique est estimé sur la santé des populations avoisinantes. Deux indicateurs qui donnent respectivement un proxy de l'impact sanitaire quantitatif (nombre d'admissions) et qualitatif (durée d'hospitalisation pour la sévérité de la pathologie) sont retenus. La fermeture de la raffinerie n'a pas d'effet sur le nombre d'admissions mensuelles mais entraîne une baisse d'en moyenne un jour de la durée des hospitalisations pour pathologies respiratoires. Ces résultats sont déclinés par tranche d'âge ce qui permet de montrer que c'est pour les populations à risque (plus de 70 ans) et les 40-60 ans que cet effet est le plus fort et le plus significatif.*

La demande énergétique internationale est croissante, et la source d'énergie la plus utilisée reste le pétrole, particulièrement pour le transport. Pour répondre à cette demande, le pétrole brut est traité et transformé, le but étant de tirer le maximum de produits à haute valeur commerciale. Les processus de raffinage posent, néanmoins, un risque sanitaire. Les émissions incluent un certain nombre de polluants avec des effets notoires sur la santé, plus particulièrement le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Le processus de raffinage rejette, en effet, du dioxyde de soufre dans l'air. En France, les rejets de SO<sub>2</sub> sont essentiellement dus au secteur industriel mais 20 % proviennent de la production d'énergie.

Cet article s'intéresse aux externalités de santé liées à la production d'énergie. Il a pour objectif d'explorer les conséquences de ces externalités sur la santé, *via* la morbidité se traduisant par des hospitalisations grâce à une approche empirique géographique fine. À travers une analyse économétrique de données de panel, les bases de résumés anonymes du programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) sont étudiées en relation avec les immissions<sup>(1)</sup> de polluants dans l'air et les facteurs locaux des communes. Notre objectif est d'analyser l'impact d'une réduction de la pollution de l'air sur la santé pour la commune de Dunkerque, qui a bénéficié d'une réduction de pollution suite à l'arrêt de la raffinerie des Flandres en septembre 2009.

Cette étude s'inscrit dans une littérature récente sur la santé se préoccupant des problèmes de sélection non aléatoires et des réponses comportementales liées aux préférences pour la pollution. Les agents économiques qui ont une forte préférence pour l'environnement auront tendance à vivre dans des zones géographiques dotées d'une bonne qualité environnementale alors qu'une qualité moyenne pourrait suffire à des agents économiques avec une moindre préférence pour l'environnement. Certaines zones géographiques peuvent donc ne pas être représentatives de la population globale. Dans ce contexte, Hanna et Oliva (2015) considèrent les effets sur les salaires de la fermeture d'une raffinerie au Mexique ; elles observent qu'une augmentation d'un pourcent de dioxyde de soufre engendre une diminution de 0,61 % d'heures travaillées. Chay et Greenstone (2003) analysent l'impact de la pollution de l'air sur la santé des enfants suite à une récession et concluent que la réduction de la concentration par les particules totales en suspension de 1 % entraîne une diminution de 0,35 % de la mortalité infantile. Moretti et Neidell (2011) utilisent les variations de pollution du port de Los Angeles pour étudier son impact sur la santé. Leurs estimations montrent que l'ozone a un coût annuel d'au moins quarante-quatre millions de dollars à Los Angeles en termes d'admissions à l'hôpital pour pathologies respiratoires. Currie *et alii* (2011) examinent l'impact du programme américain Superfund pour le

nettoyage des sites pollués sur la santé des enfants et trouvent que le risque de maladies congénitales à côté des sites pollués, avant la mise en place du programme Superfund, était de 20 à 25 % supérieur aux zones à plus de deux kilomètres des sites pollués. Currie et Walker (2011) étudient l'impact de la diminution de la pollution suite à l'instauration du télépéage sur la santé des enfants. Celle-ci réduit le nombre de prématurés et le faible poids des enfants à la naissance dans les zones situées à moins de deux kilomètres par rapport aux zones situées entre deux et dix kilomètres.

Les sources de pollution affectant la santé sont nombreuses et la contribution principale de ce papier est de mettre en lumière l'impact sanitaire d'une importante concentration en dioxyde de soufre qui résulte de l'activité de raffinage. L'arrêt de la raffinerie des Flandres y est utilisé comme quasi-expérience. Grâce aux données de panel disponibles sur les environs de la raffinerie de 2007 à 2011, le meilleur moyen d'isoler l'effet causal de la réduction de concentration en dioxyde de soufre liée à l'arrêt de l'activité de raffinage est d'examiner les différences en termes d'impact entre la commune avec la raffinerie et toutes les autres communes de l'étude dans le département du Nord de la France. Il est en effet difficile de comparer l'état de santé à proximité d'un site polluant avec l'état de santé sur un autre site pour mesurer l'impact de la pollution. En effet, les populations vivant à proximité d'un site polluant peuvent avoir des comportements plus à risque que des populations choisissant de vivre plus éloignées d'un site polluant. Ils peuvent par exemple être confrontés à une plus forte exposition à la pollution urbaine, qui pourrait expliquer leur mauvais état de santé.

Le modèle distingue ainsi deux groupes : le groupe de traitement qui est constitué de la commune qui a subi l'arrêt de sa raffinerie et le groupe de contrôle associé aux autres communes de l'étude dans le département du Nord de la France. L'arrêt d'une activité polluante et l'utilisation d'un modèle de différence en différences entre ces deux groupes nous permet de bien mesurer l'effet de la pollution sur la population habituellement exposée à la pollution provenant de la raffinerie par rapport aux populations vivant loin de la raffinerie et donc non exposées à celle-ci (*Économie et Prévision*, n° 204-205).

Il apparaît clairement dans les résultats de cette étude que le dioxyde de soufre même à des niveaux inférieurs aux seuils de régulation européens provoque un allongement de la durée des séjours à l'hôpital, *proxy* de la sévérité des pathologies respiratoires. Les résultats sont particulièrement significatifs pour les populations à risque comme les personnes âgées de plus de soixante dix ans et les enfants de moins de cinq ans. Ces résultats s'inscrivent dans la littérature récente et renforcent

l'idée qu'il existe un lien entre pollution, maladies respiratoires (Moretti et Neidell, 2011), et productivité (Hanna et Oliva, 2015). Le coût monétaire est plus faible que celui trouvé dans la littérature mais les variations de concentration de pollution dans cette étude sont très faibles relativement à la norme d'émission. Cependant, cet article montre bien que même des niveaux de concentration situés en dessous des seuils de pollution fixés par les autorités publiques, peuvent être actifs (Lavaine, 2014). Enfin, cette étude fournit un support solide à l'idée que les populations proches des raffineries sont plus exposées à la pollution et plus gravement affectées que les populations plus éloignées des raffineries. Tout d'abord, nous présentons les conséquences potentielles de la fermeture de la raffinerie des Flandres sur la santé humaine. L'article s'attache ensuite à présenter et justifier le modèle économétrique utilisé. Les données sont présentées dans une troisième partie. Enfin, la dernière partie présente les résultats du modèle économétrique et conclut.

---

## La pollution atmosphérique, la santé et l'arrêt des activités de raffinage

---

### Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) et la santé

La dispersion et le transport des polluants dans l'air dépendent de l'état de l'atmosphère et des conditions météorologiques. Cet article se focalise sur le SO<sub>2</sub>, l'un des polluants majeurs émis par les raffineries de pétrole et le principal polluant du secteur industriel. Le SO<sub>2</sub> est responsable d'un certain nombre de problèmes respiratoires, il est donc réglementé aux États-Unis comme en Europe. En Europe, le seuil pour le dioxyde de soufre est fixé par la norme européenne 2002-2013 à 350 µg / m<sup>3</sup> en moyenne horaire pour protéger la santé humaine. En comparaison, depuis juin 2010, la réglementation aux États-Unis, plus stricte, fixe le seuil en moyenne horaire à 75 parties par milliards (ppb)<sup>(2)</sup> correspondant à environ 200 µg / m<sup>3</sup>.

Le SO<sub>2</sub> est un gaz incolore, soluble dans l'eau, qui est réactif et très irritant pour les yeux et les voies respiratoires. Le dioxyde de soufre est soumis à une série de processus de transformation dans l'atmosphère. Il se transforme en acide sulfurique mais peut aussi réagir avec d'autres composés dans l'atmosphère pour former de petites particules. Ces particules pénètrent profondément dans les parties sensibles des poumons et peuvent causer ou aggraver des maladies respiratoires, telles que l'emphysème et la bronchite, et aggraver une maladie cardiaque préexistante, conduisant à une augmentation des hospitalisations et des décès prématurés.

Le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) représente donc un risque environnemental majeur pour la santé et son rôle délétère a été clairement démontré dans de nombreuses études. Ce gaz est associé à une altération de la fonction pulmonaire chez l'enfant, à une exacerbation des symptômes respiratoires aigus chez l'adulte, à des crises d'asthme (Laurent *et alii*, 2007) et provoque des irritations oculaires (Lecoq *et alii*, 2009). Le nombre d'admissions à l'hôpital pour des cardiopathies et la mortalité augmentent à la suite de journées avec de fortes concentrations en SO<sub>2</sub> (Finkelstein *et alii*, 2003). Selon l'Institut de veille sanitaire (IVS), une exposition au SO<sub>2</sub> sur de longues périodes à des niveaux moyens journaliers faibles est significativement corrélée à la survenue de différents événements sanitaires tels que l'hospitalisation pour maladies respiratoires et cardio-vasculaires ischémiques, l'aggravation des insuffisances respiratoires chroniques et les décès pour pathologies cardio-vasculaires (Lecoq *et alii*, 2009).

### La pollution atmosphérique et l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres

En France, les sources de pollution environnementale telles que les sites Seveso "seuil haut" sont réparties sur l'ensemble du territoire<sup>(3)</sup>. Ces sites sont principalement associés aux grands bassins industriels récents ou passés : Étang de Berre, les bassins miniers du nord, la région île de France, la région lyonnaise, etc.

La raffinerie des Flandres fait partie des sites Seveso seuils hauts. En septembre 2009, l'activité de la raffinerie des Flandres a été suspendue suite à une baisse structurelle de la demande pour les produits pétroliers. Le groupe pétrolier avait présenté aux employés un projet d'arrêt définitif de toute activité de raffinerie sur le site. Le 8 mars 2010, la fin du raffinage à Dunkerque avait été annoncé mais la justice avait ordonné le 30 juin 2010 le redémarrage de la raffinerie. Néanmoins, l'arrêt a été confirmé par une autre décision de justice en octobre 2010. Le site a été reconverti dès 2011 en un centre d'assistance technique, une école de formation et un dépôt pétrolier. L'activité de la raffinerie a donc cessé brutalement en septembre 2009. La baisse induite des émissions de SO<sub>2</sub> suite à l'arrêt des activités a été immédiate et non progressive.

L'étude fait le lien entre la réduction de la pollution suite à l'arrêt des activités de raffinage et les admissions respiratoires. Le registre français des émissions polluantes indique que les émissions dans l'air de dioxyde de soufre de la raffinerie des Flandres à Dunkerque sont passées de 6 840 000 kg/an à 2 530 000 kg/an de 2009 à 2010. Cette réduction d'émissions entre 2009 et 2011 a vraisemblablement eu un impact sur les concentrations de polluants dans l'air utilisées dans cette étude. Ce sont les concentrations de pollution dans l'air qui sont utilisées dans cette étude car elles

mesurent plus précisément l'exposition à la pollution de la population contrairement aux émissions qui n'ont pas encore subi de conversions et transformations chimiques.

## Le modèle

### La stratégie d'identification

Cet article analyse la relation causale entre un arrêt du processus de raffinage, les niveaux locaux de concentration de pollution et le nombre d'admissions pour pathologie respiratoire, ainsi que la durée du séjour pour ces pathologies.

Par conséquent, l'objectif de la première étape est de mesurer l'impact de l'arrêt des activités de la raffinerie sur la concentration en SO<sub>2</sub>. Cette expérience naturelle permet d'isoler l'effet causal de la réduction de concentration en dioxyde de soufre liée à l'arrêt des activités. Les données de santé disponibles pour 2010 et 2011 permettent de faire un lien entre la réduction de la concentration de pollution dans l'air et l'impact à court terme sur la santé.

Cette évaluation repose ainsi sur l'estimation d'un modèle de différence en différences de la forme suivante :

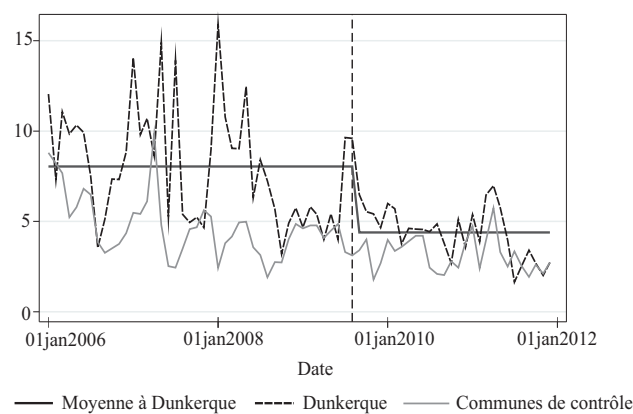
$$(1) P_{cma} = \beta_0 + \beta_1 Ap\_sept\_2009 + \delta Dunkerque + vDunkerque * Ap\_sept\_2009_{cma} + \alpha W_{cma} + \theta_m + \eta_a + \varepsilon_{cma}$$

$P_{cma}$  est une mesure de concentration de pollution pour chaque commune  $c$ , au mois  $m$ , et pour l'année  $a$ <sup>(4)</sup>.  $W_{cma}$  est un vecteur de variables de contrôle : météorologiques et sur le nombre de demandeurs d'emploi en fin de mois de Pôle emploi. En effet, les phénomènes météorologiques sont complexes et contrôlent la dispersion des polluants ou au contraire leur accumulation. Ainsi, vent et pluie favorisent la dispersion des polluants. En revanche, les situations anticycloniques persistantes telles que les fortes températures accompagnées d'une absence de vent se traduisent par une concentration progressive des polluants. La variable d'emploi est une *proxy* du dynamisme de l'activité économique de chaque commune. Elle permet de contrôler pour un potentiel changement d'activité économique qui pourrait être différent entre le groupe de contrôle et le groupe de traitement. Cette estimation contrôle aussi pour les effets saisonniers, par l'ajout de variables muettes années  $\eta_a$  et mois  $\theta_m$ , afin de prendre en considération la tendance à la baisse de la pollution atmosphérique et les fortes variations de la pollution de l'air qui peuvent être observées dans le temps.

$\varepsilon_{cma}$  représente le terme d'erreur. La variable  $Ap\_sept\_2009$  représente une variable temporelle codée 1 après l'arrêt des activités de la raffinerie. Le coefficient de premier intérêt  $v$  qui se réfère à la variable  $Dunkerque * Ap\_sept\_2009$  est notre estimateur de double différences. Il analyse l'impact de l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres sur la concentration en SO<sub>2</sub>. Cette variable de traitement est une variable muette codée 1 si la commune est Dunkerque et pour la période postérieure à septembre 2009. Cet indicateur mesure la variation de la pollution, entre la période qui a suivi l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres et la période antérieure.

Le graphique 1 présente l'évolution ajustée de la concentration annuelle en SO<sub>2</sub> sur toute la période de l'étude, de 2007 à 2011, pour la commune de Mardyck associée à Dunkerque où se trouve la raffinerie, relativement aux autres communes de l'étude dans le Nord de la France.

**Graphique 1 : évolution ajustée de la concentration en SO<sub>2</sub> de 2007 à 2011**



Lecture : ce graphique représente l'évolution ajustée de la tendance saisonnière pour le SO<sub>2</sub> pour la commune de Dunkerque où se trouve la raffinerie et les autres communes du département du Nord de la France. Le graphique présente aussi la moyenne de concentration ajustée, avant et après la fermeture, dans la commune de Dunkerque. Septembre 2009 correspond à l'arrêt des activités de raffinage. Sources : Ineris, calculs de l'auteur.

Cette estimation contrôle pour les effets saisonniers, par l'ajout de variables muettes années et mois. Un vecteur de variables météorologiques et des effets fixes par commune sont également inclus pour tenir compte de la spécificité de chaque commune. La concentration annuelle en SO<sub>2</sub> représentée graphiquement est donc corrigée des facteurs de confusion. L'évolution de la concentration en SO<sub>2</sub> est beaucoup plus volatile à Dunkerque que dans les autres communes de contrôle avant la fermeture de la raffinerie. La pollution est fluctuante. Graphiquement, il semble que la moyenne mensuelle décroît un peu avant l'arrêt des activités de la raffinerie. Cette décroissance peut être liée à la crise économique et financière qui a démarré au deuxième semestre 2008 et s'est poursuivie début

2009. La reprise de l'économie mondiale à partir de mi-2009 s'est accompagnée d'une augmentation de la demande pétrolière qui se poursuit en 2010. Cette crise économique et financière a cependant été commune aux deux groupes. L'évolution de la concentration en SO<sub>2</sub> devient similaire après la fermeture de la raffinerie. Après l'arrêt de la raffinerie des Flandres en 2009, la pollution en SO<sub>2</sub> diminue pour Dunkerque relativement aux autres communes. La commune de Dunkerque observe une faible diminution de la concentration en SO<sub>2</sub> pour rejoindre, après l'année 2009, la concentration en SO<sub>2</sub> des autres communes étudiées du département du Nord de la France, qui elle semble être plutôt stable en moyenne.

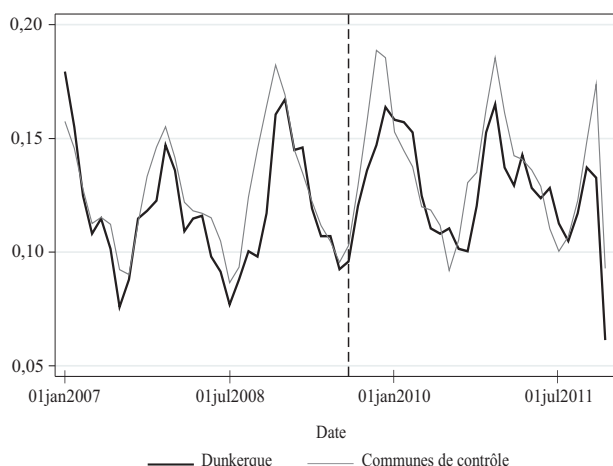
Le deuxième objectif est d'estimer l'impact de la diminution de la pollution sur la santé, ce qui correspond au paramètre  $\sigma$  dans le modèle suivant :

$$(2) Y_{cmabs} = \varphi_0 + \varpi Ap\_sept\_2009 + \theta Dunkerque + \sigma Dunkerque * Ap\_sept\_2009 + \xi W_{cmabs} + \partial_m + \psi_a + \varepsilon_{cmabs}$$

où la variable expliquée  $Y_{cmabs}$  représente la variable sanitaire (la durée du séjour à l'hôpital ou les admissions pour pathologie respiratoire selon les estimations) par commune (c), mois (m), année (a), tranche d'âge (b), sexe (s). L'estimateur de différence en différences  $\sigma$  se réfère à la variable  $Dunkerque * Ap\_sept\_2009$ . Il analyse maintenant l'impact de l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres sur la santé. Cet indicateur mesure la variation des effets sanitaires, entre la période qui a suivi l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres et la période antérieure.

Les graphiques 2 et 3 présentent l'évolution du nombre d'admissions et de la durée des séjours à

**Graphique 2 : le nombre d'admissions à l'hôpital de 2007 à 2011**



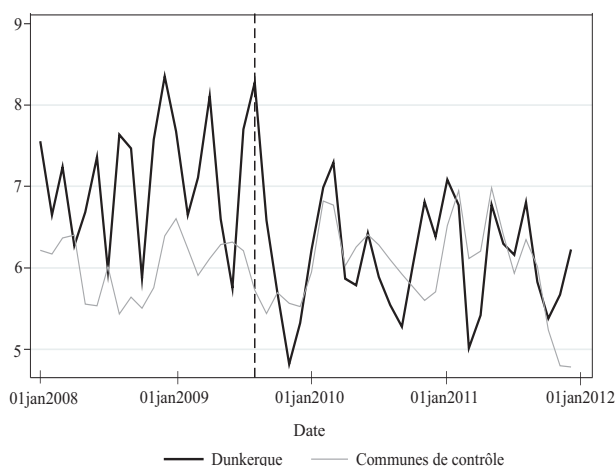
Lecture : ce graphique représente l'évolution du nombre d'admission à l'hôpital pour la commune de Dunkerque où se trouve la raffinerie et les autres communes étudiées du département du Nord de la France. Septembre 2009 correspond à l'arrêt des activités de raffinage.  
Sources : PMSI, calculs de l'auteur.

l'hôpital respectivement. Les problèmes respiratoires sont dépendants des changements de température de l'air. La conséquence des changements brusques de température, fréquents pendant l'hiver, est une contraction des bronches qui à son tour provoque des quintes de toux, des difficultés respiratoires et une respiration sifflante (HEAL, 2011). Ce sont les forts pics hivernaux que l'on retrouve sur le graphique 2 qui présente l'évolution du nombre d'admissions à l'hôpital.

Nous n'observons pas de changements dans l'évolution du nombre d'admissions à l'hôpital avant et après l'arrêt des activités de la raffinerie entre le groupe de contrôle et la commune de Dunkerque. Néanmoins, l'arrêt des activités engendre une diminution de la durée du séjour à l'hôpital à Dunkerque entraînant un rattrapage de la durée du séjour à l'hôpital à Dunkerque par rapport aux autres communes de l'étude dans le Nord de la France (graphique 3).

Le temps de vie chimique de SO<sub>2</sub> est de l'ordre de 2 jours, bien inférieur au pas de temps retenu dans cette étude (un mois) ce qui ne pose donc pas de problèmes de persistance et d'autocorrélation. Si c'était la durée d'exposition au SO<sub>2</sub> qui causait les pathologies et les hospitalisations, on risquerait d'identifier un changement de la composition de la population locale plutôt que l'effet de l'arrêt de la raffinerie. En effet, les employés de la raffinerie, très exposés à la pollution pourraient quitter Dunkerque suite à l'arrêt des activités entraînant une diminution du nombre d'hospitalisations et de la gravité des pathologies, et ce sans effet sur la santé à court terme. Néanmoins, l'impact du SO<sub>2</sub> est relativement local et rapide tel que la concentration du mois  $m$  ne dépend pas de la concentration du mois précédent  $m-1$ . La littérature empirique relate les impacts respiratoires d'une exposition à court terme (5-10 minutes) au SO<sub>2</sub> (WHO, 2005). La probabilité d'hospitalisation pour

**Graphique 3 : la durée du séjour à l'hôpital de 2007 à 2011**



Lecture : ce graphique représente l'évolution de la durée du séjour à l'hôpital pour la commune de Dunkerque où se trouve la raffinerie et les autres communes étudiées du département du Nord de la France. Septembre 2009 correspond à l'arrêt des activités de raffinage.  
Sources : PMSI, calculs de l'auteur.

l'asthme est plus élevée dans les six à 8 jours suite à une exposition à la pollution de l'air (Peel *et alii*, 2007). La baisse exogène de concentration à Dunkerque est donc bien responsable des variations observées dans les admissions et la gravité des pathologies. L'effet de l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres est donc bien identifié.

### Les hypothèses

Les modèles de différence en différences distinguent le groupe de traitement du groupe de contrôle. Une des deux conditions majeures du modèle réside dans des effets fixes temporels similaires pour les deux groupes. La deuxième condition essentielle à la validation de l'expérience naturelle, qui permet de capturer l'effet pur du traitement, réside dans la vérification que la composition des groupes de traitement et de contrôle reste stable suite à l'arrêt de la raffinerie.

Puisque notre estimateur est une variable d'interaction entre le mois de fermeture et la commune de Dunkerque, l'hypothèse d'identification s'appuie sur le fait que les zones proches et éloignées de la raffinerie ont des tendances similaires en termes de pollution et de santé au sein de la même région. Cela peut ne pas être le cas si, par exemple, les zones à la périphérie de la raffinerie se développent à un rythme plus rapide que les zones plus proches de la raffinerie. Les disparités régionales peuvent être le résultat de différences spatiales à propos des caractéristiques des patients, des traitements, des caractéristiques de l'hôpital et de la structure locale du marché (Gobillon et Milcent, 2013). Toutefois, l'utilisation du département du Nord de la France nous permet d'avoir une certaine homogénéité dans notre échantillon (Currie *et alii*, 2015). Nous utilisons ensuite, les communes qui disposent d'au moins un site de mesure de la pollution en SO<sub>2</sub>. Il est vraisemblable d'imaginer que les communes où sont implantées les stations de mesure de la pollution présentent des tendances semblables. Les stations de mesure de la pollution sont en effet implantées proches des populations. Les communes prises en compte sont également des communes à forte activité industrielle où l'on observe une concentration en SO<sub>2</sub>. La présence d'une station de mesure de la pollution est une *proxy* de la densité d'activités industrielles polluantes dont on peut raisonnablement penser qu'elles subissent les mêmes chocs macroéconomiques et courbes de développement.

Par ailleurs, des migrations dans les zones entourant la raffinerie peuvent s'être produites après la fermeture et biaiser nos résultats<sup>(5)</sup>. Or, la fermeture de la raffinerie n'a eu lieu qu'en octobre 2010 alors que l'arrêt des activités a eu lieu en septembre 2009. L'impact du SO<sub>2</sub> sur la santé étant rapide, même si des migrations ont eu lieu après la fermeture définitive de la raffinerie, elles n'affectent pas les

estimations de l'impact de la réduction exogène de la concentration en SO<sub>2</sub> sur la santé ayant eu lieu un an auparavant. En outre, dans ce modèle, l'hypothèse d'exclusion serait violée si d'autres événements ont eu lieu en même temps que la fermeture de la raffinerie. C'est peu probable, car nous sommes confiants qu'aucun événement économique ou politique ne coïncide avec le moment exact de l'arrêt des activités et l'emplacement de la raffinerie. L'hypothèse d'exclusion peut toutefois encore être violée si la fermeture de la raffinerie elle-même a un impact sur la santé indépendamment de la pollution. Les travailleurs au chômage peuvent avoir plus de temps et ainsi influencer le nombre d'admissions à l'hôpital. L'utilisation de la durée des séjours à l'hôpital permet de réduire ce biais. Les mauvaises conditions économiques succédant à la fermeture d'une raffinerie peuvent aussi inciter les malades à raccourcir leur période d'hospitalisation à cause des frais. L'existence de la couverture maladie universelle en France réduit ce biais de manière importante même s'il existe un plafond de revenu pour accéder à la couverture maladie universelle qui est inférieur au minimum vieillesse.

---

## Les données françaises

---

### Le réseau français de mesure de la pollution atmosphérique

Le réseau français de surveillance de la qualité de l'air est composé de 38 associations, agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA) réunies au sein de la fédération ATMO, certifiée par le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (MEDD). Les données utilisées sont celles de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) qui assure la coordination technique de la surveillance de la qualité de l'air au niveau national et gère la Base de données nationale de Qualité de l'Air (BDQA). La base de données nationale de qualité de l'air répertorie l'ensemble des stations de mesure de la pollution en France. Les stations de mesure de la pollution se localisent géographiquement grâce à leurs coordonnées GPS. Plus de 600 sites de mesures automatiques recueillent tous les jours des données sur la qualité de l'air dans l'atmosphère. Plus récemment, ces données sont rassemblées par l'Institut National de l'Environnement Industriel et des risques (Ineris)<sup>(6)</sup>. Le dioxyde de soufre est soumis à leur contrôle car il représente un risque environnemental majeur pour la santé. Les niveaux de concentration communaux sont estimés par interpolation spatiale à partir des données du réseau de stations de mesure de la pollution. Le poids attribué à chaque station correspond à l'inverse de la distance entre le centre de la commune et la station de mesure (Currie et Neidell, 2005).

Le résumé statistique indique que la moyenne mensuelle de concentration en SO<sub>2</sub> en µg/m<sup>3</sup> sur la période décroît avant et après l'arrêt des activités de la raffinerie dans le département du Nord de la France (cf. tableau 1, panel A).

Le niveau de concentration en SO<sub>2</sub> est en général très bas sur toute la période. Ce faible niveau des concentrations en SO<sub>2</sub> est en grande partie dû à l'agrégation mensuelle des données journalières. La commune, échelle géographique de l'étude, représente une zone suffisamment petite pour refléter le niveau d'exposition du voisinage de la raffinerie. L'échantillon de traitement se compose de la seule commune de Dunkerque. La concentration en SO<sub>2</sub> après la fermeture de la raffinerie à Dunkerque a diminué de 12,65 à 6,58 µg/m<sup>3</sup> alors que la concentration en SO<sub>2</sub> dans les autres communes de l'étude, après la fermeture de la raffinerie, a diminué de 3,12 à 2,21 µg/m<sup>3</sup>. Par conséquent, la différence de différences entre Dunkerque et le groupe de contrôle, constitué par le reste des communes de l'échantillon qui disposent d'au moins une station de mesure de la pollution pour le SO<sub>2</sub> dans le département du Nord de la France, après la fermeture de la raffinerie est de 5,16 µg/m<sup>3</sup>.

Toutes les estimations sont contrôlées par les données météorologiques de météo France : précipitations, humidité, température, direction et vitesse du vent. La météo a en effet de fortes incidences sur la pollution de l'air car elle influence à la fois la direction et la dispersion des polluants. Nous disposons d'une station météo pour le département du Nord de la France. Il faut cependant noter que la temporalité et la localisation des données météorologiques ont été choisies afin de les mettre en relation avec les données de pollution disponibles. Si une donnée de pollution est manquante pour une journée, la donnée météo ne sera pas considérée pour plus de cohérence lors du calcul des moyennes. Il en résulte des moyennes mensuelles météorologiques légèrement différentes selon les communes. Il convient de mentionner l'existence d'effets météorologiques potentiels aux frontières pour les stations de pollution proches d'autres départements. En effet, une seule station météo ne reflète pas précisément la météo dans l'ensemble du département. Ainsi, le panel C du résumé statistique (cf. tableau 1) présente l'ensemble de ces données météorologiques en moyenne mensuelle pour toute la période de même que la moyenne avant et après l'arrêt des activités de la raffinerie. Les écarts-types figurent entre

**Tableau 1 : résumé statistique (N= 185 687), moyenne (écarts-types)**

	Toute la période	Avant septembre 2009	Après septembre 2009
<b>Panel A : la concentration de pollution</b>			
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	3,77 (4,26)	4,48 (5,21)	2,86 (2,28)
Moyenne mensuelle			
<b>Panel B : variables de santé</b>			
Admissions respiratoires par code Insee, mois, âge et sexe	0,09 (0,29)	0,09 (0,29)	0,10 (0,30)
Durée du séjour (jours)	6,14 (8,30)	6,17 (8,53)	6,10 (8,02)
<b>Panel C : variables Météo</b>			
Précipitations (mm)	2,00 (1,01)	2,08 (0,85)	1,86 (1,23)
Max_Temp	14,59(6,51)	14,25 (6,04)	15,18 (7,23)
Moy_Temp	10,73 (5,62)	10,48 (5,27)	11,17(6,17)
Vitesse_vent (m/sec)	7,82 (1,12)	7,95 (1,17)	7,59 (0,98)
Direct_vent (rose des vents)	206,68 (44,91)	211,34 (40,79)	198,40 (50,37)
Min_Humidité (%)	60,00 (11,78)	60,55 (10,71)	59,03 (13,41)
Max_Humidité (%)	93,76 (2,77)	92,83 (2,65)	95,41 (2,12)
<b>Panel D : variables socio-économiques</b>			
Âge (en jours)*	13 389,47 (12 241,85)	13 389,47 (12 241,86)	13 389,47 (12 241,86)
Nombre de demandeurs d'emploi	39 921,41 (29 548,25)	35 979,13 (26 054,31)	44 821,16 (32 729,68)
Revenus fiscaux localisés des ménages (Euros)	24 188,55 (4 068,13)	24 153,06 (4 058,75)	24 722,6 (4 170,58)
Nombre de foyers fiscaux	32 222,61 (32 103,24)	31 806,89 (31 676,73)	33 123,51 (32 990,66)

\* Ces chiffres indiquent que la moyenne d'âge est d'environ 36 ans).

Lecture : ce tableau indique la moyenne et l'écart-type des variables clés de l'estimation pour toute la période de 2007 à 2011, avant l'arrêt de la raffinerie et après l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres dans le Nord de la France.

Sources : la base de données est à l'échelle du code Insee, mois, âge et sexe. Les données de santé proviennent de l'Agence technique de l'information sur l'hospitalisation (ATIH) via le programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). Les données météo sont celles des stations météorologiques de Météo France. Les données de concentration de pollution sont fournies par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris). Les données sur le revenu fiscal des ménages proviennent de l'Institut national de la statistique (Insee). Les données du nombre de demandeurs d'emploi en fin de mois de pôle emploi sont issues des fichiers de la statistique mensuelle sur le marché du travail (STMT) de Pôle emploi et de la Dares.

parenthèses. Les données météorologiques ne présentent pas de grandes différences entre la période avant et après l'arrêt des activités de la raffinerie.

### Le programme de médicalisation des systèmes d'information

Le programme de médicalisation des systèmes d'information en France donne accès à des informations administratives et médicales sur les admissions à l'hôpital en France. Depuis la loi du 31 juillet 1991 portant sur la réforme hospitalière, les établissements de santé publics et privés doivent procéder à l'analyse de leur activité médicale et transmettre aux services de l'état et à l'assurance maladie "les informations relatives à leurs moyens de fonctionnement et à leur activité"<sup>(7)</sup>. Tout séjour hospitalier en soins de courte durée, Médecine, Chirurgie, Obstétrique et odontologie (MCO), d'un établissement de santé public ou privé donne lieu à la production d'un Résumé de Sortie Standardisé (RSS) qui constitue l'information type utilisée dans cette étude.

Les données d'admissions hospitalières pour les établissements publics et privés pour le Nord de la France pour les pathologies respiratoires de 2007 à 2011 proviennent de l'Agence technique de l'information sur l'hospitalisation (ATIH) à travers le Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI)<sup>(8)</sup>. Les données de santé utilisées sont strictement anonymes car la seule information disponible est le code postal du patient. Par ailleurs, le recul limité, la montée en charge progressive des services participant à ce système peuvent entraîner des limites dans les analyses. Néanmoins, la période utilisée dans cet article est suffisamment récente pour ne pas craindre des biais d'estimation<sup>(9)</sup>. Ces données font parties de la classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé (CIM). Les maladies de l'appareil respiratoire (codage J00-J99) répertoriées sont les affections aiguës des voies respiratoires supérieures, grippe et pneumopathie, maladies chroniques des voies respiratoires inférieures, maladies du poumon dues à des agents externes, maladies suppurées et nécrotiques des voies respiratoires inférieures et autres affections de la plèvre.

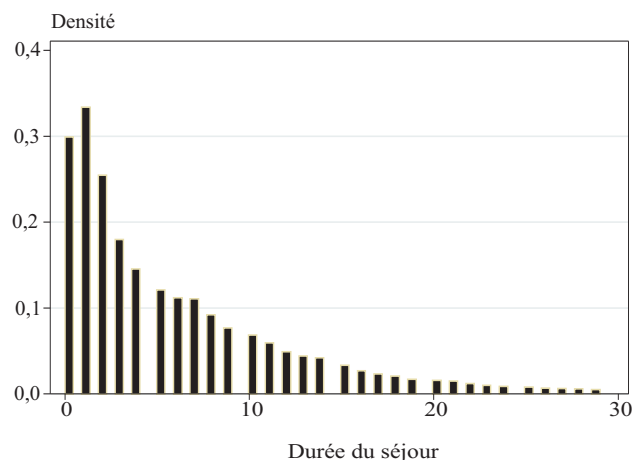
Les données utilisées sont donc la pathologie d'admission du patient à l'hôpital, le mois de sortie, la durée du séjour, la commune de résidence, l'âge et le sexe du patient. L'histogramme du graphique 4 indique que la durée du séjour de la majorité des admissions à l'hôpital entre 2007 et 2011 pour des raisons pathologiques respiratoires n'excède pas trente jours.

Environ 90 % des patients sont restés moins de 15 jours à l'hôpital. Le panel B du résumé statistique (tableau 1) décrit la durée du séjour et le nombre d'admissions à l'hôpital pour pathologies respiratoires par commune, mois, année, sexe et âge. La durée du séjour correspond à la durée moyenne d'hospitalisation pour les admissions de personnes résidant dans la commune le mois donné.

Le nombre d'observations comptabilise chaque admission par code Insee, mois, année, âge et sexe pour les communes et pour les mois avec des données de pollution atmosphérique (tableau 1). Lorsque le programme de médicalisation du système d'information ne présente pas de données de santé, le nombre d'admissions est considéré comme nul. Les bases PMSI MCO regroupent, en effet, la quasi exhaustivité des transmissions des établissements publics et privés de France. Seuls certains hôpitaux locaux ou établissements de chirurgie esthétique ne transmettent pas mais c'est un phénomène qui reste très minoritaire. Par ailleurs, les données contenues dans le panel considèrent également les simples visites à l'hôpital avec une sortie dans la journée. Dans ce cas, la durée du séjour est codée zéro dans notre base de données.

Par ailleurs, les données collectées par le système de santé du PMSI ne comprennent pas le mois d'admission du patient, mais seulement le mois de sortie et la durée du séjour du patient. Les modèles précédents considèrent que le mois d'admission est le même que le mois de sortie. Pour pallier ce biais d'incertitude, un deuxième modèle de santé est estimé qui considère que le patient a pu être admis soit le même mois que le mois de sortie, soit le mois précédent, et ce, selon sa durée du séjour à l'hôpital. Une probabilité d'admission est évaluée en fonction

**Graphique 4 : la fréquence de la durée du séjour pour les pathologies respiratoires**



Lecture : ce graphique représente la densité de probabilité de la durée du séjour pour les séjours inférieurs à 30 jours. La durée du séjour est en nombre de jours.

Sources : PMSI, calculs de l'auteur.

de la durée du séjour. Plus la durée du séjour est courte, plus la probabilité d'avoir été admis le même mois que le mois de sortie est forte. L'annexe 1 décrit en détail le calcul réalisé.

Le panel D du tableau 1 présente également les données du nombre de demandeurs d'emploi en fin de mois de Pôle emploi qui sont issues des fichiers de la Statistique Mensuelle sur le Marché du Travail (STMT) de Pôle emploi et de la Dares à l'échelle de la commune. Les données sur le revenu fiscal des ménages proviennent de l'institut national de la statistique et des études économiques (Insee) à l'échelle de la commune.

Les communes prises en compte dans cette étude sont celles qui disposent de données de pollution<sup>(10)</sup>, avec au moins une admission pour pathologie respiratoire d'un patient résidant dans cette commune pour l'ensemble de la période considérée<sup>(11)</sup>, dans le département du Nord de la France. Les communes de contrôle de cette étude disposent d'au moins une station de mesure de la pollution pour le SO<sub>2</sub> dans le département du Nord de la France représentées en noir sur le graphique 5.

Seules neuf communes de contrôle répondent à ce critère sur les six cent cinquante communes du département du Nord de la France. Ces neuf communes représentent 23 % de la population du Nord de la France. Par ailleurs, le groupe de traitement se compose de la seule commune de Dunkerque. Il existe plusieurs stations de mesure de la pollution sur cette zone représentées en gris sur le graphique 5.

**Graphique 5 : la distribution des stations de mesure de la pollution pour les communes du département du Nord de la France**



Lecture : cette carte représente la distribution des stations de mesure de la pollution du département du Nord de la France utilisées dans cette étude. Les stations de mesure de la pollution à Dunkerque sont représentées en gris. Les stations de mesure de la pollution qui représentent le groupe de contrôle sont représentées en noir.

Source : Ineris, calculs de l'auteur.

## Les résultats empiriques

### Les effets locaux de la fermeture de la raffinerie

L'arrêt des activités de la raffinerie du Nord a provoqué différents effets locaux sur le chômage et les revenus, indirectement liés à l'impact de la pollution sur la santé, qu'il est intéressant de mettre en lumière en premier lieu. En effet, des effets de la pollution sur la santé peuvent engendrer un impact sur les décisions du marché du travail. Nous estimons un modèle de différence en différences sur le revenu et le chômage. Nous prenons en compte le niveau de revenu imposable annuel des communes de notre étude par rapport au nombre de foyers fiscaux de 2007 à 2010 (tableau 2, colonne 1)<sup>(12)</sup> puis le nombre de demandeurs d'emploi en fin de mois de Pôle emploi de 2007 à 2011 (tableau 2, colonne 2). L'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres a diminué le niveau de revenu de la commune de Dunkerque relativement aux autres communes du département du Nord de la France (cf. tableau 2, colonne 1).

Ce résultat n'est pas surprenant si l'on considère que la fermeture de la raffinerie a réduit l'activité industrielle de la commune de Dunkerque ce qui a engendré des effets négatifs sur le revenu de la population locale. Le signe du coefficient relatif au nombre de demandeurs d'emploi est lui aussi négatif, suite à la fermeture de la raffinerie. Cet effet est probablement dû à la diminution des emplois dans les communes de contrôle du département du Nord de la France, et à la conservation des emplois à Dunkerque, la commune de traitement. En effet, les salariés de la raffinerie de Dunkerque ne connaissent pas de période de chômage grâce au reclassement

**Tableau 2 : le ratio du revenu fiscal sur le nombre de ménages fiscaux et le nombre de demandeurs d'emploi par commune**

	(1) Rev fiscaux	(2) Chômage
Dunkerque* <i>Ap_sept_2009</i>	-0,1560874*** -0,0003826	-4419,227*** -23,01701
Effets fixes année	x	x
Effets fixes mois		x
Effets fixes communes	x	x
Observations	150 542	185 687
R <sup>2</sup>	0,60	0,86

Lecture : ce tableau présente les coefficients d'estimation de l'effet de l'arrêt des activités de la raffinerie sur les revenus fiscaux des ménages et le nombre de demandeurs d'emploi en fin de mois. Toutes les estimations utilisent un modèle de différence de différences, avec des écarts-types clustérisés par commune de résidence et mois. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. La significativité statistique se présente de la manière suivante : \*\*\* p < 0,01 ; \*\* p < 0,05 ; \* p < 0,1.

Sources : Pôle emploi ; Dares et Insee, calculs de l'auteure.

intégral des employés. Les emplois indirects de la raffinerie des Flandres (les sous-traitants, prestataires de services et fournisseurs du département du Nord de la France) sont en revanche fortement affectés par la fermeture de la raffinerie. Selon l'Insee (2010), en moyenne sur le cycle 2004-2009, la raffinerie des Flandres passe annuellement commande auprès de 775 établissements pour un montant de 87 millions d'euros, dont 275 établissements localisés dans le département du Nord de la France, pour un montant de 44,1 millions d'euros.

La littérature s'intéresse aussi à l'hypothèse selon laquelle la pollution de l'air et les conditions environnementales auraient un impact direct sur la productivité du travail. Crocker et Horst (1981) trouvaient déjà que la concentration d'ozone dans le sud de la Californie avait réduit les bénéfices journaliers de la récolte de citrons. En ce sens, une amélioration de la qualité de l'air peut avoir une influence positive sur le nombre d'heures travaillées en diminuant l'absentéisme au travail (Currie *et alii*, 2009), l'idée étant que la santé joue un rôle prépondérant sur l'efficacité au travail. Dans ce contexte, Hanna et Oliva (2015) montrent récemment que la fermeture d'une raffinerie au Mexique, suite à une diminution de la pollution, a des effets positifs sur les salaires de la ville de Mexico. Zivin et Neidell (2012) mettent en lumière l'impact de l'ozone sur la productivité au travail. Ils soutiennent l'idée que la protection environnementale peut aussi être vue comme un investissement en capital humain. Sa contribution à la productivité des entreprises et à la croissance économique devrait donc être incorporée au calcul des décideurs politiques. Les résultats de cet étude corroborent l'article d'Hanna et Oliva en montrant le lien entre pollution et santé. Cependant, cet article n'estime pas directement l'effet de la pollution sur la productivité. Il s'intéresse néanmoins, à l'hétérogénéité de l'impact de la fermeture de la

raffinerie selon les catégories d'âge dans la dernière partie.

### L'estimation de première étape : l'arrêt de la raffinerie et le niveau de pollution en SO<sub>2</sub>

Le point de départ de l'étude est l'examen des effets de l'arrêt de la raffinerie des Flandres sur la pollution de l'air. Les résultats sont obtenus en contrôlant par divers facteurs qui sont déterminants sur les variables d'intérêt.

Le résultat est intéressant, en lui-même, pour comprendre l'influence de l'activité de raffinage sur la pollution de l'air. Nous présentons maintenant des estimations de  $v$  de l'équation (1) (cf. tableau 3).

Tout d'abord, nous présentons une estimation de l'impact de l'arrêt des activités sur le SO<sub>2</sub>, sans variables de contrôle, avec une variable pour le groupe de traitement et une variable de traitement avant-après (colonne 1). Toutes les spécifications incluent des effets fixes mois, années, et sont clustérisées par commune et par mois<sup>(13)</sup>.

L'arrêt de la raffinerie réduit de manière substantielle la pollution en SO<sub>2</sub> à hauteur de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne dans la commune de Dunkerque relativement aux autres communes du département du Nord de la France sur la période 2007-2011 (cf. tableau 3, première colonne). La pollution était en moyenne de 16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Dunkerque avant l'arrêt des activités. La variable "Dunkerque"<sup>(14)</sup> contrôle pour les spécificités du groupe traité et du groupe contrôle sur toute la période étudiée. Cette variable est fortement significative et indique que la commune de Dunkerque présente des niveaux en SO<sub>2</sub> plus importants que les autres communes de contrôle pour toute la période de l'étude, et ce à hauteur de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne par mois. La significativité du coefficient de la variable "*Ap\_sept\_2009*" met en évidence l'existence d'une tendance à la hausse de la pollution après l'arrêt des activités de raffinage pour les communes étudiées du département du Nord de la France. Les colonnes suivantes répètent l'analyse en ajoutant les contrôles météorologiques, les effets fixes par commune, puis en réduisant l'échantillon avec les communes où la distance entre la station de mesure et le centre de commune est inférieure à deux kilomètres. Il peut y avoir plusieurs stations au sein d'une seule commune. Réduire l'échantillon de communes pour celles où la distance entre la station de mesure et le centre de commune est inférieure à deux kilomètres, permet de disposer d'une meilleure mesure de l'exposition à la pollution. Le résultat précédemment obtenu est robuste dans toutes les estimations. Les variables météorologiques sont très peu significatives dans l'ensemble des modèles. L'influence du vent sur la pollution atmosphérique est positive alors que le vent favorise la dispersion des polluants. Cependant, l'influence du vent est très variable selon la position de la source et il peut rabattre les polluants de la raffinerie vers la

**Tableau 3 : estimation de première étape**

	(1) SO <sub>2</sub>	(2) SO <sub>2</sub>	(3) SO <sub>2</sub>	(4) SO <sub>2</sub>
<i>Dunkerque*Ap_sept_2009</i>	-5,021*** (1,24)	-5,104*** (1,202)	-5,190*** (1,357)	-5,178*** (1,372)
<i>Ap_sept_2009</i>	0,61 (1,249)	0,717 (1,182)		
Dunkerque	9,281*** (0,812)	10,060*** (0,699)		
Moy_temp		-0,139 (0,769)	0,044 (0,622)	0,024 (0,643)
Précipitations		-0,213 (0,259)	-0,266 (0,263)	-0,285 (0,272)
Max_temp		0,239 (0,727)	0,083 (0,585)	0,107 (0,603)
Vitesse_vent		0,351 (0,452)	0,433 (0,458)	0,467 (0,477)
Direct_vent		-0,003 (0,004)	-0,005 (0,004)	-0,005 (0,005)
Min_humidité		-0,028 (0,072)	-0,023 (0,07)	-0,023 (0,074)
Max_humidité		0,054 (0,167)	0,048 (0,173)	0,055 (0,186)
Effets fixes année	x	x	x	x
Effets fixes mois	x	x	x	x
Effets fixes communes			x	x
Distance < 2 km				x
Observations	417	417	417	392
R <sup>2</sup>	0,44	0,50	0,53	0,52
RMSE	3,28	3,21	3,13	3,23

Lecture : ce tableau présente les coefficients d'estimation de l'effet de l'arrêt des activités sur la concentration en dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Toutes les estimations utilisent un modèle de différence de différences, avec des écarts-types clustérisés par commune de résidence et mois. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. La significativité statistique se présente de la manière suivante : \*\*\* p < 0,01 ; \*\* p < 0,05 ; \* p < 0,1.

Sources : l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), calculs de l'auteur.

commune. Nous ne disposons cependant que d'une station météo. La dernière colonne réduit l'analyse à deux kilomètres de distance entre le centre de la commune et la station de pollution. Le coefficient de différence en différences augmente légèrement et il reste stable et significatif à hauteur de 10 % lorsque l'on réduit la taille de l'échantillon en enlevant les communes dont le centre est éloigné de plus de deux kilomètres d'une station de mesure de la pollution.

### L'effet de l'arrêt des activités sur les pathologies respiratoires

L'évaluation de l'impact de l'arrêt des activités de la raffinerie sur plusieurs indicateurs de santé est exposée dans les estimations suivantes (tableau 4 à 7). La première colonne ne présente que l'estimateur de différence en différences  $\sigma$ , de l'équation (2), avec une variable pour le groupe de traitement et une variable de traitement avant-après. L'impact direct de l'arrêt de la raffinerie sur les admissions pour pathologies respiratoires est tout d'abord estimé (cf. tableau 4).

Nous utilisons un modèle linéaire avec le nombre d'admissions à l'hôpital. Le coefficient de différence

en différences n'est pas significatif. Il est possible que les individus modifient leurs comportements suite à la fermeture de la raffinerie et influencent le nombre de visites médicales. L'arrêt des activités de raffinage n'a ainsi pas d'effet sur le nombre d'admissions pour pathologie respiratoire.

Néanmoins, la diminution de la pollution en SO<sub>2</sub> a un impact significativement négatif sur la durée du séjour à l'hôpital pour les pathologies respiratoires (tableaux 5 et 6) de l'ordre d'une journée dès la lecture du premier modèle sans variables de contrôle (colonne 1)<sup>(15)</sup>.

Le comportement d'évitement mentionné précédemment est plus difficilement envisageable si l'on considère la durée du séjour à l'hôpital. Une fois admis à l'hôpital, il semble difficile d'ajuster soi-même la durée de son séjour à l'hôpital. Toutes les spécifications incluent des effets fixes mois, année, et sont clustérisées par commune et par mois. La durée du séjour à l'hôpital peut être considérée comme une *proxy* de la sévérité d'une maladie puisqu'il est raisonnable de penser que plus la pathologie d'un patient est sévère et plus la durée du

**Tableau 4 : le log du nombre d'admissions à l'hôpital**

	(1) Admissions	(2) Admissions	(3) Admissions	(4) Admissions	(5) Admissions
<i>Dunkerque*Ap_sept_2009</i>	-0,006 (0,033)	-0,006 (0,033)	-0,003 (0,01)	-0,004 (0,01)	-0,003 (0,01)
<i>Ap_sept_2009</i>	-0,001 (0,017)	-0,013 (0,018)			
<i>Dunkerque</i>	-0,080*** (0,025)	-0,081*** (0,025)			
<i>Moy_temp</i>		0,024* (0,013)	0,014 (0,010)	0,016 (0,011)	0,017 (0,011)
<i>Précipitations</i>		-0,005 (0,004)	0 (0,004)	-0,001 (0,004)	-0,001 (0,004)
<i>Max_temp</i>		-0,023* (0,012)	-0,015 (0,010)	-0,016 (0,010)	-0,018* (0,010)
<i>Vitesse_vent</i>		-0,002 (0,005)	-0,006 (0,005)	-0,006 (0,005)	-0,006 (0,005)
<i>Direct_vent</i>		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
<i>Min_humidité</i>		0,001 (0,002)	0 (0,001)	0 (0,001)	-0,001 (0,001)
<i>Max_humidité</i>		-0,002 (0,003)	0 (0,002)	0 (0,002)	0,001 (0,003)
<i>log_Chômage</i>				-0,070 (0,172)	-0,040 (0,178)
<i>Effets fixes année</i>	x	x	x	x	x
<i>Effets fixes mois</i>	x	x	x	x	x
<i>Effets fixes communes</i>			x	x	x
<i>Distance &lt; 2 km</i>					x
<i>Observations</i>	185 687	185 687	185 687	185 687	175 212
<i>R<sup>2</sup></i>	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04
<i>RMSE</i>	0,40	0,40	0,39	0,39	0,39

Lecture : ce tableau présente les coefficients d'estimation de l'effet de l'arrêt des activités de la raffinerie sur le nombre d'admissions pour pathologies respiratoires. Toutes les estimations utilisent un modèle de différence de différences, avec des écarts-types clustérisés par commune de résidence et mois. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. La significativité statistique se présente de la manière suivante : \*\*\* p < 0,01 ; \*\* p < 0,05 ; \* p < 0,1.

Sources : programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI), calculs de l'auteure.

séjour est grande. La variable "Dunkerque" indique, cette fois, que la durée du séjour à l'hôpital est plus importante à Dunkerque que dans les autres communes de l'étude dans le Nord de la France sur toute la période de l'étude et ce de l'ordre d'une journée. Cette variable permet également de contrôler de l'éventuelle propension du personnel hospitalier de Dunkerque à hospitaliser les patients en moyenne plus longtemps que dans le reste des communes du département du Nord de la France, à état de santé comparable. La forte concentration en SO<sub>2</sub> mise en évidence précédemment dans la commune de Dunkerque pourrait être à l'origine de ce résultat. Il apparaît clairement que la tendance s'inverse après le choc : la concentration en SO<sub>2</sub> et la durée du séjour ont diminué faisant apparaître le lien entre les deux effets. Les colonnes suivantes répètent l'analyse en ajoutant les contrôles météorologiques, les effets fixes par commune, puis la variable chômage. Les variables météorologiques sont présentes dans un souci de contrôle vis-à-vis des variables sanitaires. Les précipitations, conformément à l'intuition, diminuent la durée du

séjour à l'hôpital. En effet, les précipitations diminuent les particules polluantes de l'air et contribuent à réduire les particules formées par des activités telles que la construction et certains procédés industriels (EPA, 2012). L'ajout de variables de contrôle météorologiques et des effets fixes ne changent pas la significativité des coefficients. L'arrêt des activités de raffinage a provoqué une diminution de la concentration en SO<sub>2</sub> qui, même après l'ajout des variables de confusion météorologiques, n'a pas d'impact sur les admissions respiratoires mais diminue la durée de ces admissions respiratoires d'une journée environ. L'ajout du nombre de demandeurs d'emploi ne change pas la significativité du coefficient et sa taille. La dernière colonne présente un panel réduit et reporte les impacts à distance de deux kilomètres maximum entre le centre de la commune et les moniteurs de mesure de la pollution atmosphérique. Le résultat précédent est robuste lorsque l'on réduit la distance entre le patient et la station de mesure de la pollution<sup>(16)</sup>.

**Tableau 5 : la durée du séjour à l'hôpital**

	(1) Durée_séjour	(2) Durée_séjour	(3) Durée_séjour	(4) Durée_séjour	(5) Durée_séjour
<i>Dunkerque*Ap_sept_2009</i>	-1,083*** (0,240)	-1,082*** (0,239)	-1,087*** (0,195)	-1,106*** (0,198)	-1,107*** (0,210)
<i>Ap_sept_2009</i>	-0,138 (0,419)	-0,448 (0,447)			
<i>Dunkerque</i>	1,062*** (0,205)	1,055*** (0,207)			
<i>Moy_temp</i>		0,269 (0,273)	0,169 (0,246)	0,244 (0,241)	0,214 (0,250)
<i>Précipitations</i>		-0,255** (0,106)	-0,240** (0,098)	-0,261** (0,102)	-0,287** (0,106)
<i>Max_temp</i>		-0,267 (0,259)	-0,180 (0,240)	-0,229 (0,236)	-0,221 (0,247)
<i>Vitesse_vent</i>		0,213* (0,111)	0,188 (0,113)	0,212* (0,116)	0,265** (0,115)
<i>direct_vent</i>		-0,001 (0,003)	-0,001 (0,003)	-0,001 (0,003)	-0,002 (0,003)
<i>min_humidité</i>		-0,019 (0,026)	-0,018 (0,026)	-0,020 (0,026)	-0,015 (0,027)
<i>max_humidité</i>		0,013 (0,051)	0,020 (0,049)	0,030 (0,051)	0,011 (0,050)
<i>log_Chômage</i>				-3,047 (2,452)	-2,174 (2,330)
<i>Effets fixes année</i>	x	x	x	x	x
<i>Effets fixes mois</i>	x	x	x	x	x
<i>Effets fixes communes</i>			x	x	x
<i>Distance &lt; 2 km</i>					x
<i>Observations</i>	18 544	18 544	18 544	18 544	17 514
<i>R<sup>2</sup></i>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<i>RMSE</i>	8,44	8,44	8,44	8,44	8,45

Lecture : ce tableau présente les coefficients d'estimation de l'effet de l'arrêt des activités de la raffinerie sur la durée du séjour pour les pathologies respiratoires. Toutes les estimations utilisent un modèle de différence de différences, avec des écarts-types clustérisés par commune de résidence et mois. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. La significativité statistique se présente de la manière suivante : \*\*\* p < 0,01 ; \*\* p < 0,05 ; \* p < 0,1.

Sources : programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI), calculs de l'auteur.

Nous estimons le même modèle de santé mais, dorénavant, nous tenons compte de l'incertitude affectant le mois d'admission à l'hôpital, comme cela a été expliqué dans la partie précédente et présenté plus précisément dans l'annexe 1 (cf. tableau 6). Le nombre d'observations a doublé car deux mois d'admissions sont attribués pour chaque admission, avec une probabilité d'admission différente. Les coefficients de différence en différences sont très significatifs à hauteur de 1 % avec un coefficient légèrement plus important que dans le tableau précédent qui ne prenait pas en compte le biais d'incertitude. Après l'arrêt des activités de raffinage, la concentration de SO<sub>2</sub> apparaît diminuée de 5 µg/m<sup>3</sup> sur la période 2007-2011 (tableau 3). Cette diminution entraîne une réduction de la longueur des séjours de plus d'une journée sur la période 2007-2011 (tableau 6, dernière colonne) alors que la moyenne de la durée du séjour est de 6 jours environ. La significativité des coefficients du groupe de traitement et de la période de traitement ne change pas ce qui laisse penser que cette spécification est similaire. Le reste de l'étude

utilise néanmoins ce modèle qui tient compte de l'incertitude.

Ces résultats sont aussi présentés en fonction de la catégorie d'âge, dans un modèle complet avec les variables météorologiques et la variable chômage, ainsi que les effets fixes précédemment utilisés (cf. tableau 7).

Le nombre d'observations diffère selon la catégorie d'âge avec les deux extrémités d'âge qui sont le plus représentées dans notre panel de données. Les résultats sont particulièrement significatifs pour les populations à risques tels que les adultes de plus de soixante-dix ans qui voient leur durée du séjour à l'hôpital diminuer de deux jours après l'arrêt des activités de raffinage. L'effet significatif sur les plus de soixante-dix ans, déjà retraités et dont le revenu n'a pas pu être affecté par la fermeture de la raffinerie, valide la bonne spécification du modèle. La durée du séjour des enfants de moins de cinq ans est elle diminuée de 0,2 jours.

**Tableau 6 : la durée du séjour selon la probabilité d'admission**

	(1) Durée séjour	(2) Durée séjour	(3) Durée séjour	(4) Durée séjour	(5) Durée séjour
<i>Dunkerque*Ap_sept_2009</i>	-1,167*** (0,235)	-1,164*** (0,231)	-1,151*** (0,189)	-1,161*** (0,186)	-1,153*** (0,207)
<i>Ap_sept_2009</i>	-0,021 (0,460)	-0,236 (0,437)			
Dunkerque	1,072*** (0,184)	1,059*** (0,185)			
Moy_temp		0,419* (0,243)	0,385 (0,253)	0,425* (0,238)	0,418* (0,240)
Précipitations		-0,257** (0,103)	-0,249** (0,096)	-0,259** (0,099)	-0,272** (0,103)
Max_temp		-0,433* (0,230)	-0,403 (0,245)	-0,429* (0,234)	-0,445* (0,238)
Vitesse_vent		0,128 (0,090)	0,108 (0,087)	0,120 (0,089)	0,156* (0,091)
direct_vent		-0,001 (0,002)	-0,001 (0,002)	-0,001 (0,002)	-0,002 (0,002)
min_humidité		-0,025 (0,027)	-0,027 (0,027)	-0,028 (0,027)	-0,030 (0,027)
max_humidité		0,050 (0,044)	0,055 (0,042)	0,061 (0,041)	0,058 (0,042)
log_Chômage				-1,580 (2,465)	-0,331 (2,270)
Effets fixes année	x	x	x	x	x
Effets fixes mois	x	x	x	x	x
Effets fixes communes			x	x	x
Distance < 2 km					x
Observations	34 641	34 641	34 641	34 641	3 269
R <sup>2</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
RMSE	8,41	8,41	8,40	8,40	8,42

Lecture : ce tableau présente les coefficients d'estimation de l'effet de l'arrêt des activités de la raffinerie sur la durée du séjour pour les pathologies respiratoires, en tenant compte de la probabilité d'avoir été admis le même mois que le mois d'admission. Toutes les estimations utilisent un modèle de différence de différences, avec des écarts-types clustérisés par commune de résidence et mois. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. La significativité statistique se présente de la manière suivante :

\*\*\* p < 0,01 ; \*\* p < 0,05 ; \* p < 0,1.

Sources : programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI), calculs de l'auteur.

Le modèle par âge montre que l'arrêt des activités de raffinage réduit également de manière significative la durée du séjour pour pathologie respiratoire des 40-60 ans de l'ordre de 0,9 jours. Cette catégorie fait partie de la population active. Ce résultat s'inscrit dans la littérature précisant que de fortes concentrations de pollution réduisent la productivité des travailleurs car cela affecte leur santé (Hanna et Oliva, 2015). Les travailleurs avec de jeunes enfants sont d'autant plus susceptibles d'être absents au travail, la pollution pouvant impacter leurs enfants comme eux-mêmes. Cependant, dans cet article, il est difficile de conclure qu'une diminution de la pollution serait bénéfique à la productivité du travail puisque l'effet sur les 25-40 ans n'est pas significatif.

En moyenne pour nos estimations, une diminution de 5 µg/m<sup>3</sup> mensuelle de la concentration en SO<sub>2</sub> après la fermeture de la raffinerie engendre une diminution d'environ une journée de la durée du séjour à l'hôpital. Selon le projet ExternE, le coût d'une admission hospitalière et d'une visite aux urgences pour maladie respiratoire est évalué à 2 000

euros par admission (Bickel *et alii*, 2005). Pour obtenir une évaluation approximative du coût monétaire de la fermeture de la raffinerie, nous approximations le coût d'une journée d'hospitalisation supplémentaire par le coût d'une admission hospitalière<sup>(17)</sup>. Le coût d'une admission à l'hôpital comme celui d'une journée d'hospitalisation couvre les frais du séjour, tel que l'infrastructure mise à disposition, et les soins à l'hôpital. Le nombre annuel d'admissions pour motif respiratoire étant en moyenne de 700, il existe donc une différence de coût annuelle de 1 400 000 euros avant et après la fermeture de la raffinerie à Dunkerque. Les effets de long terme ne peuvent être quantifiés sur la base des données mobilisées dans cet article. Cet article estime par ailleurs l'impact sanitaire de la fermeture de raffinerie, tous polluants confondus, mais ce calcul impute le résultat au seul SO<sub>2</sub>, ce qui est un facteur de surestimation. L'incertitude sur la date d'estimation constitue un facteur de sous-estimation. En effet, l'effet sanitaire sera sous-estimé s'il est retardé par rapport à la date d'exposition aux polluants. Malgré des

**Tableau 7 : la durée du séjour par catégorie d'âge selon la probabilité d'admission**

	(1) 0-5 ans	(2) 5-15 ans	(3) 15-25 ans	(4) 25-40 ans	(5) 40-60 ans	(6) 60-70 ans	(7) 70 et plus
<i>Dunkerque*Ap_sept_2009</i>	-0,264* (0,142)	-0,176 (0,339)	0,544 (0,855)	-1,669 (0,996)	-0,962** (0,433)	-0,913 (1,027)	-2,125** (0,876)
Moy_temp	0,149 (0,098)	0,120 (0,316)	-0,168 (0,498)	1,325** (0,509)	0,371 (0,747)	1,800** (0,707)	0,457 (0,698)
Précipitations	-0,123* (0,066)	-0,048 (0,16)	-0,026 (0,32)	-0,303 (0,227)	-0,182 (0,255)	-0,658* (0,345)	-0,453** (0,204)
Max_temp	-0,161 (0,106)	-0,134 (0,304)	0,047 (0,432)	-1,178** (0,475)	-0,285 (0,667)	-1,701** (0,691)	-0,477 (0,654)
Vitesse_vent	0,052 (0,075)	-0,062 (0,146)	0,082 (0,303)	-0,039 (0,332)	0,013 (0,273)	0,746** (0,296)	0,074 (0,17)
direct_vent	0,002 (0,002)	-0,001 (0,003)	0,002 (0,004)	0,002 (0,005)	-0,001 (0,005)	-0,009 (0,007)	-0,002 (0,004)
min_humidité	-0,012 (0,024)	-0,013 (0,045)	0,036 (0,055)	-0,076 (0,073)	0,032 (0,068)	-0,147* (0,084)	-0,036 (0,063)
max_humidité	-0,003 (0,036)	0,038 (0,093)	-0,168 (0,127)	0,145 (0,156)	-0,007 (0,133)	0,138 (0,137)	0,067 (0,117)
log_Chômage	0,962 (2,043)	3,785 (3,709)	2,036 (8,809)	-7,892 (7,440)	4,593 (9,366)	-26,729** (12,914)	3,822 (6,859)
Effets fixes année	x	x	x	x	x	x	x
Effets fixes mois	x	x	x	x	x	x	x
Effets fixes communes	x	x	x	x	x	x	x
Variables de contrôle	x	x	x	x	x	x	x
Observations	9 205	1 958	1 882	3035	6023	3375	9163
R <sup>2</sup>	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02
RMSE	3,40	3,50	5,40	7,21	9,96	10,25	9,56

Lecture : ce tableau présente les coefficients d'estimation de l'effet de l'arrêt des activités de la raffinerie sur la durée du séjour, par catégorie d'âge, pour les pathologies respiratoires, en tenant compte de la probabilité d'avoir été admis le même mois que le mois d'admission. Toutes les estimations utilisent un modèle de différence de différences, avec des écarts-types clusterisés par commune de résidence et mois. Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. La significativité statistique se présente de la manière suivante :  
\*\*\* p < 0,01 ; \*\* p < 0,05 ; \* p < 0,1.

Sources : programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI), calculs de l'auteure.

concentrations de pollution très faibles relativement à la norme d'émission (Panel A du tableau 1), les estimations indiquent un impact sanitaire significatif. Dans ce contexte, les seuils actuels ne semblent pas fournir le niveau de protection nécessaire à la santé.

## Conclusion

Cet article étudie l'effet de court terme de la pollution par le SO<sub>2</sub> sur les pathologies respiratoires. L'objectif est d'analyser l'impact de la pollution de l'air sur la santé pour les communes qui ont bénéficié d'une réduction de la pollution de l'air suite à l'arrêt des activités de la raffinerie des Flandres en septembre 2009. Grâce aux données de panel, le meilleur moyen d'isoler l'effet causal de la réduction de concentration en dioxyde de soufre liée à l'arrêt des activités de la raffinerie est d'examiner les différences en termes d'impact entre la commune d'implantation de la raffinerie et les autres communes de l'étude. Tout d'abord, l'arrêt des activités de la raffinerie influence les mesures locales de pollution atmosphérique. L'utilisation

d'un choc exogène répond aux problèmes de sélection non aléatoire qui peuvent avoir biaisé les résultats des études précédentes. Les résultats indiquent que la réduction en SO<sub>2</sub> a réduit significativement la sévérité des maladies respiratoires. Ce résultat est particulièrement significatif pour les populations à risque comme les jeunes enfants et les personnes âgées de plus de soixante-dix ans. Ces résultats corroborent l'idée qu'un renforcement de la régulation concernant le SO<sub>2</sub> serait bénéfique pour la société et particulièrement pour les populations vivant proches des raffineries.

---

## Notes

---

(1) Les émissions de pollution, ensemble de polluants émis sur un secteur donné se distinguent des immissions de pollution, concentration de la pollution dans l'air. Nous nous intéressons ici aux concentrations de la pollution qui sont déterminantes pour la santé de la population. Les immissions sont mesurées par prise d'échantillon dans l'air. Elles désignent la pollution atmosphérique à l'endroit où elle déploie ses effets sur la population.

(2) Parties par milliards est un volume de gaz polluant par  $10^9$  de volume d'air.  $1 \text{ ppb} = 2,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le  $\text{SO}_2$ .

(3) Seveso est le nom d'une commune italienne où eu lieu un accident industriel majeur en juillet 1976, d'où le nom de la directive européenne sur les risques industriels. Les entreprises sont classées « Seveso » en fonction des quantités et des types de produits dangereux qu'elles accueillent. Il existe ainsi deux seuils différents classant les entreprises en « Seveso seuil bas » ou en « Seveso seuil haut ».

(4) Les données journalières ont été agrégées en moyenne mensuelle pour faire le lien avec les données de santé.

(5) Les agents économiques peuvent avoir des niveaux de préférences différents pour les aménités environnementales qui peuvent justifier des migrations géographiques en fonction du niveau de pollution atmosphérique ce qui amènerait à biaiser les résultats.

(6) Les données de l'Ineris sont des données publiques gratuites accessibles aux chercheurs.

(7) Articles L. 6113-7 et L. 6113-8 du code de la santé publique.

(8) Les données du PMSI sont des données publiques gratuites qui supposent de faire une demande à la CNIL.

(9) Une politique de tarification hospitalière a été mise en place sur cette période. Néanmoins, la nouvelle tarification couvre 100 % de l'activité des établissements privés depuis 2005, tandis qu'elle a été appliquée de manière progressive dans le secteur public pour couvrir 100 % de l'activité de court séjour (Médecine, Chirurgie, Obstétrique) des établissements publics en 2008 (Or et Renaud, 2009). Le choc considéré dans ce papier se déroule en septembre 2009, un an après l'application de la tarification. Le groupe contrôle et le groupe de traitement ont donc déjà été affectés par cette tarification. L'impact du changement de tarification sur la distribution du nombre d'admissions partira dans la tendance.

(10) Afin d'homogénéiser les stations de mesures, celles qui n'existaient pas sur toute la période considérée ont été enlevées. On suppose que cela correspond à des erreurs de report.

(11) Les communes qui n'ont pas enregistré d'admissions sur la période considérée disparaissent automatiquement lors de l'estimation puisqu'elles ne présentent aucune variation.

(12) Les données de revenu imposable pour 2011 ne sont pas disponibles à la date de la rédaction de l'article.

(13) Il est en effet vraisemblable de penser que chaque commune selon le mois de l'année partage des caractéristiques communes.

(14) Cette variable est codée 1 si la commune est Dunkerque et elle est codée zéro s'il s'agit des autres communes de l'étude dans le Nord de la France.

(15) La modélisation de la durée du séjour comporte un problème de sélection. En effet, ce modèle considère seulement les patients déjà admis à l'hôpital et une modification du nombre d'admissions peut nous amener à faire une fausse interprétation des résultats. Néanmoins, cet article montre aussi que la fermeture de la raffinerie n'a pas eu d'impact sur le nombre d'admissions à l'hôpital ce qui conforte la validité du résultat concernant la réduction de la durée du séjour à l'hôpital.

(16) Le nombre d'observations a fortement diminué puisque seuls les patients admis à l'hôpital sont considérés. Le panel précédent considèrerait également les patients non admis avec un codage à 0 pour le nombre d'admissions.

(17) Le projet ExternE est un projet de recherche de la Commission Européenne (*External Costs of Energy*), qui quantifie la valeur monétaire des bénéfices environnementaux. Le rapport externE ne définit pas le coût d'une journée d'hospitalisation supplémentaire. Il définit le coût d'une visite en urgence, d'une admission à l'hôpital, d'un symptôme respiratoire ou d'une journée d'absentéisme au travail.

---

## Bibliographie

---

- Beatty T. et Shimshack. J. (2011).** “School Buses, Diesel Emissions, and Respiratory Health”, *Journal of Health Economics*, vol. 30, n° 5, pp. 987-999.
- Bickel P., Friedrich R., Droste-Frank B., Bachman T. et Rabl A. (2005).** “ExternE, Externalities of Energy”, Methodology 2005 Update. Rapport.
- Chay K. et Greenstone M. (2003).** “The Impact of Air Pollution on Infant Mortality: Evidence from Geographic Variation in Pollution Shocks Induced by a Recession”, *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 118, n° 3, pp. 1121-1167.
- Crocker T. et Horst R. (1981).** “Hours of Work, Labor Productivity, and Environmental Conditions: a Case Study”, *The Review of Economics and Statistics*, vol. 63, n° 3, pp. 361-368.
- Currie J., Davis L., Greenstone M. et Walker R. (2015).** “Environmental Health Risks and Housing Values: Evidence From 1,600 Toxic Plant Openings and Closings”, *The American Economic Review*, vol. 105, n° 2, pp. 678-709.
- Currie J., Greenstone M. et Moretti E. (2011).** “Superfund Cleanups and Infant Health”, *American Economic Review*, vol. 101, n° 3, pp. 435-441.
- Currie J., Hanushek E., Kahn E., Neidell M. et Rivkin S. (2009).** “Does Pollution Increase School Absences?”, *The Review of Economics and Statistics*, vol. 91, n° 4, pp. 682-694.
- Currie J. et Neidell M. (2005).** “Air Pollution and Infant Health: What Can We Learn from California’s Recent Experience?”, *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 120, n° 3, pp. 1003-1030.
- Currie J. et Walker R. (2011).** “Traffic Congestion and Infant Health: Evidence From E-Zpass”, *American Economic Journal: Applied Economics*, vol. 3, n° 1, pp. 65-90.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2012).** “Control Emissions Technologies-Transport Dispersion of Air Pollutants” Rapport.
- Économie et Prévision (2014).** “Méthodes d’évaluation des politiques publiques”, *Économie et Prévision*, n° 204-205.
- Finkelstein M., Jerrett M., DeLuca P., Finkelstein N., Verma D., Chapman K. et Sears M. (2003).** “Relation Between Income, Air Pollution and Mortality: A Cohort Study”, *Canadian Medical Association Journal (CMAJ)*, vol. 169, n° 5, pp. 397-402.
- Gobillon L. et Milcent C. (2013).** “Spatial Disparities in Hospital Performance”, *Journal of Economic Geography*, vol. 13, n° 6, pp. 1013-1040.
- Greenstone M. et Hanna R. (2011).** “Environmental Regulations, Air and Water Pollution, and Infant Mortality in India”, Document de travail n° 1114, Massachusetts Institute of Technology, Center for Energy and Environmental Policy Research.
- Hanna R. et Oliva P. (2015).** “The Effect of Pollution on Labor Supply: Evidence from a Natural Experiment in Mexico City”, *Journal of Public Economics*, vol. 122, n° C, pp. 68-79.
- Institut National de la Statistique et des Études Économiques (Insee) (2010).** “L’inscription territoriale de la raffinerie des Flandres dans la région Nord-Pas-de-Calais”, Rapport.
- Laurent O., Bard D., Filleul L. et Segala C. (2007).** “Effect of Socioeconomic Status on the Relationship Between Atmospheric Pollution and Mortality”, *J Epidemiol Community Health*, vol. 61, n° 8, pp. 665-675.
- Lavaine E. (2014).** “An Econometric Analysis of Atmospheric Pollution, Environmental Disparities and Mortality Rates”, *Environmental and Resource Economics*, vol. 60, n° 2, pp. 215-242.
- Lecoq P., Dor F. et Kairo C. (2009).** “Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d’expositions aiguës par inhalation des populations”, Rapport, l’Institut national de veille sanitaire (InVS).
- Moretti E. et Neidell M. (2011).** “Pollution, Health, and Avoidance Behavior: Evidence from the Ports of Los Angeles”, *Journal of Human Resources*, vol. 46, n° 1, pp. 154-175.
- Or Z. et Renaud T. (2009).** “Principes et enjeux de la tarification à l’activité à l’hôpital (t2a)”, Enseignements de la théorie économique et des expériences étrangères [document de travail]. Paris (France) : *Institut de recherche et documentation en économie de la santé*.
- Peel J., Metzger K., Klein M., Flanders W., Mulholland J. et Tolbert P. (2007).** “Ambient Air Pollution and Cardiovascular Emergency Department Visits in Potentially Sensitive Groups”, *American Journal of Epidemiology*, vol. 165, n° 6, pp. 625-633.
- Schlenker W. et Walker R. (2016).** “Airports, Air Pollution, and Contemporaneous Health”, *The Review of Economic Studies*, vol. 83, n° 2, pp. 768-809.
- The Health and Environment Alliance (HEAL) (2011).** “Climate Change and the Lungs”, Fact Sheet for Adults & Children, 4 pages.
- World Health Organization (WHO) (2005).** “Effects of Air Pollution on Children’s Health and Development”, Rapport.
- Zivin G. et Neidell M. (2012).** “The Impact of Pollution on Worker Productivity”, *American Economic Review*, vol. 102, n° 7, pp. 3652-3673.

## Annexe 1

Le système d'informations constitué par le PMSI ne permet pas de connaître exactement le mois d'admission du patient. Le mois de sortie et de la durée du séjour du patient sont disponibles. En conséquence, pour plus de précisions, le patient a pu être admis soit le même mois que le mois de sortie, soit le mois précédent à son mois de sortie, et ce, selon sa durée du séjour à l'hôpital. Pour ce faire, deux probabilités d'admission sont attribuées en fonction de la durée du séjour.

La probabilité  $\Pr(m|LOS)$  d'être admis le mois  $m$ , sachant la durée du séjour  $LOS$  est calculée de la manière suivante :

$$\Pr(m|LOS) = \begin{cases} \Pr(m|LOS = LOS_0) = P(m|m) & \text{si } LOS \leq 30 \\ \Pr(m|LOS = LOS_1) = \Pr(m-1|m) & \text{si } LOS \in [30;60] \\ \Pr(m|LOS = LOS_2) = \Pr(m-2|m) & \text{si } LOS \in [60;90] \\ \Pr(m|LOS = LOS_3) = \Pr(m-3|m) & \text{si } LOS \in [90;120] \\ \dots \\ \Pr(m|LOS = LOS_n) = \Pr(m-n|m) & \text{si } LOS \in [990;1020] \end{cases}$$

$P(m|LOS)$  représente la probabilité qu'un patient ait été admis le mois  $m$  sachant  $m$  le même mois de sortie s'il est resté jusqu'à 30 jours,  $\Pr(m-1|m)$  représente la probabilité qu'un patient ait été admis le mois  $m-1$  sachant  $m$  s'il est resté entre 30 et 60 jours, etc,...

De la même manière, la probabilité  $\Pr(m-1|LOS)$  d'être admis le mois  $m-1$ , sachant la durée du séjour  $LOS$ , est calculée de la manière suivante :

$$\Pr(m-1|LOS) = \begin{cases} \Pr(m-1|LOS = LOS_0) = P(m-1|m) & \text{si } LOS \leq 30 \\ \Pr(m-1|LOS = LOS_1) = \Pr(m-2|m) & \text{si } LOS \in [30;60] \\ \Pr(m-1|LOS = LOS_2) = \Pr(m-3|m) & \text{si } LOS \in [60;90] \\ \Pr(m-1|LOS = LOS_3) = \Pr(m-4|m) & \text{si } LOS \in [90;120] \\ \dots \\ \Pr(m-1|LOS = LOS_n) = \Pr(m-n|m) & \text{si } LOS \in [990;1020] \end{cases}$$

$\Pr(m-1|m)$  représente la probabilité qu'un patient ait été admis le mois  $m-1$  sachant  $m$  s'il est resté jusqu'à 30 jours,  $\Pr(m-2|m)$  représente la probabilité qu'un patient ait été admis le mois  $m-2$  sachant  $m$  s'il est resté entre 30 et 60 jours, etc.