

Bilan de l'épisode de pollution de mars 2014 et évaluation de la mise en place de la circulation alternée le 17 mars 2014 en Ile-de-France

Amélie FRITZ,¹ Fabrice DUGAY,¹ Cécile HONORÉ,¹ Olivier SANCHEZ,¹ Véronique GHERSI,¹ Charlotte SONGEUR,¹ Pierre PERNOT,¹ Frédéric MAHÉ,¹ Sophie MOUKHTAR,¹ Jean SCIARE²

Le lundi 17 mars 2014, les autorités ont décidé la mise en place d'une circulation alternée à Paris et dans la vingtaine de communes limitrophes, dans le cadre d'un épisode aux particules PM₁₀. Cette décision fait suite à la persistance des niveaux élevés enregistrés par les stations d'Airparif. Une telle procédure avait déjà été mise en place en 1997 mais pour un épisode de pollution au dioxyde d'azote. C'est la première fois qu'elle s'appliquait pour les particules. Sont décrits ci-après le déroulement de l'épisode de pollution de mars 2014, la composition chimique des particules observées lors de cet épisode puis l'évaluation de la mise en place de la circulation alternée sur les niveaux de pollution.

Description de l'épisode de pollution du 5 au 17 mars 2014

La qualité de l'air dépend en grande partie de l'intensité des émissions polluantes mais aussi de la météorologie **qui conditionne notamment la dispersion des polluants ou au contraire leur accumulation. Prévoir la qualité de l'air est donc un exercice difficile puisqu'il doit prendre en compte l'ensemble de ces facteurs.**

Ainsi, vent et pluie favorisent la dispersion, le brassage et le lessivage des polluants. En revanche, les situations anticycloniques persistantes (pression atmosphérique élevée, ciel dégagé, fortes ou faibles températures) accompagnées d'une absence de vent au sol (inférieur à 2 m/s) et de situations d'inversion de température se traduisent par une accumulation progressive des polluants émis au-dessus de l'agglomération. Les conditions météorologiques peuvent également placer l'Ile-de-France sous l'influence d'une pollution en provenance des pays et des régions limitrophes. Les vents amènent alors des masses d'air chargées en particules et en précur-

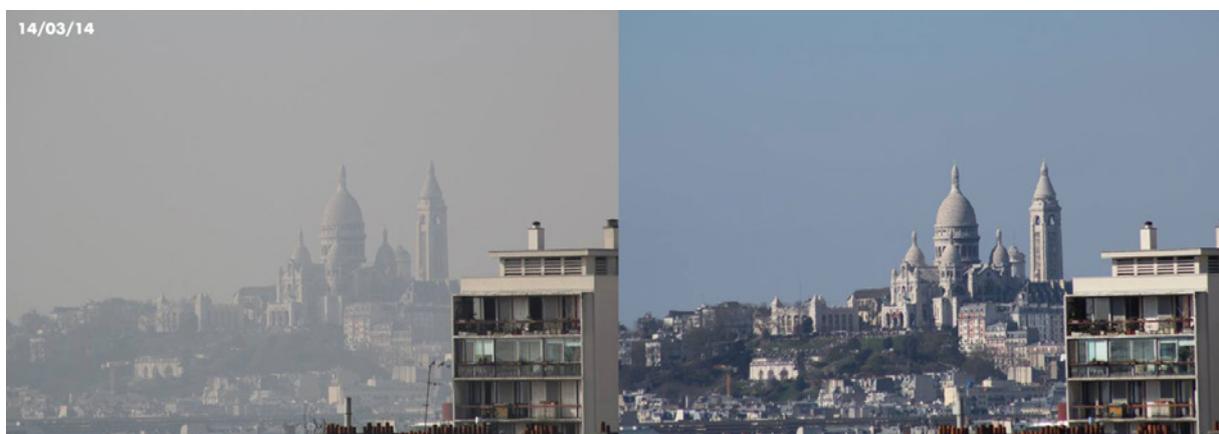


Figure 1.

Indice le 14 mars 2014 (photo de gauche : indice > 100) et le 16 mars 2014 (photo de droite : indice 43/100).

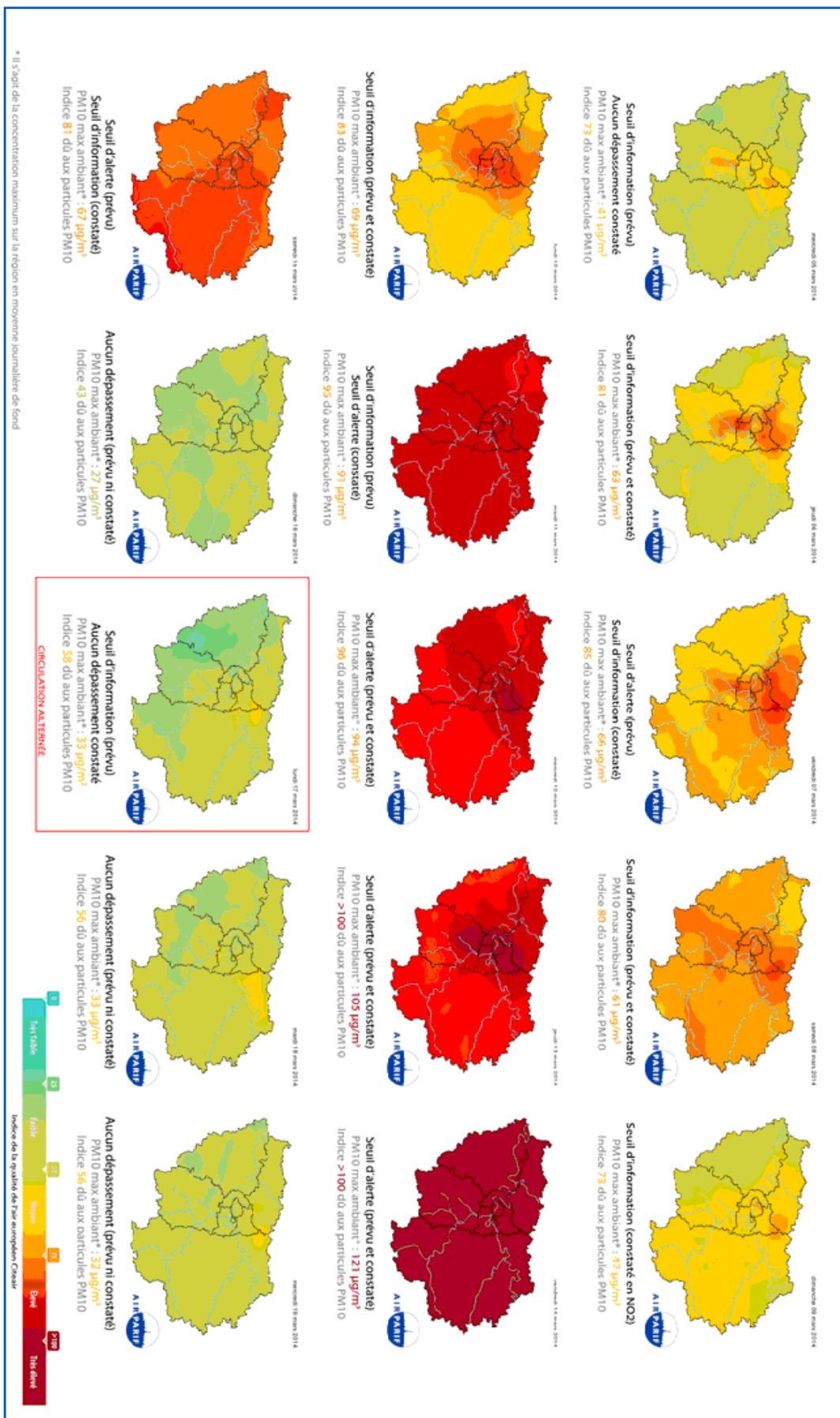


Figure 2. Cartes journalières de la qualité de l'air en Ile de France, du 5 mars 2014 au 19 mars 2014.

seurs. Ces régimes continentaux sont fréquemment associés à des conditions météorologiques favorables à la formation de particules secondaires, en particulier le nitrate d'ammonium, sur de larges zones géographiques. L'import de pollution sur la région, qui s'ajoute aux émissions locales, peut ainsi contribuer pour une bonne part aux fortes concentrations enregistrées certains jours, mais il est difficile de chiffrer précisément cette part.

Les seuils de déclenchement de la procédure d'information et d'alerte ont été abaissés fin 2011 pour les particules PM_{10} . Ils sont ainsi passés – en moyenne sur 24 heures – de 80 à 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le premier seuil (information et recommandations), et de 125 à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le deuxième seuil (alerte).

Depuis l'abaissement des seuils de déclenchement, le nombre d'épisode de pollution en Ile-de-France a sensiblement augmenté. Ces nouveaux seuils sont en lien avec les valeurs limites de la réglementation européenne (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} à ne pas dépasser plus de 35 jours par an). En dehors des épisodes de pollution, ce sont les niveaux élevés de pollution chronique de particules respirés tout au long de l'année qui restent problématiques en Ile-de-France. Chaque année entre 1 et 4 millions de Franciliens sont potentiellement exposés à des niveaux de pollution qui ne respectent pas la réglementation, principalement le long du trafic et dans le cœur de l'agglomération. Les valeurs limites étant notamment dépassées de manière récurrente en Ile-de-France, pour les particules PM_{10} et pour le dioxyde d'azote, la Commission Européenne a engagé une procédure de contentieux à l'encontre de la France pour les premières, et pourrait suivre pour le second. Seize autres États membres sont également concernés.

Le déroulement de l'ensemble de l'épisode, du 5 au 17 mars 2014 sur la région francilienne, est illustré par les cartes suivantes.

Les premiers jours de l'épisode étaient dus à une accumulation des polluants émis localement du fait de conditions anticycloniques caractéristiques de l'hiver avec de fortes inversions de température, notamment aux heures de pointes du trafic avec un vent très faible et une hauteur de couche de mélange très basse. La part de production locale s'est accumulée au-dessus de l'agglomération parisienne provoquant des dépassements du seuil d'information.

Les mardi 11 et mercredi 12 mars, le vent s'est levé légèrement (faible à modéré) amenant sur la région un air chargé en polluants qui ont rajouté une contribution de l'import important aux niveaux locaux, déclenchant les premiers dépassements du seuil d'alerte.

Puis les jeudi 13 et vendredi 14 mars, les conditions anticycloniques de blocage, empêchant la dispersion des particules, se sont mises en place de nouveau. Le matin une inversion de température était observée sur l'agglomération avec un vent très faible et une hauteur de couche de mélange très basse. Une part importante de production locale de particules s'est de nouveau ajoutée aux niveaux de fond déjà très élevés. Airparif prévoyait une persistance des dépassements du seuil d'alerte sur ces journées.

Un vent d'ouest (faible à modéré) s'est ensuite installé à partir de la mi-journée du samedi 15 mars et a permis une dispersion des particules. Un risque de dépassement était prévu le lundi 17 mars au matin avec un vent faible et une hauteur de couche de mélange basse. Une inversion de température était de plus attendue ; elle n'a finalement pas été observée.

En conclusion, durant cet épisode de mars 2014, les dépassements de seuils PM_{10} s'expliquent dans un premier temps pour une contribution majeure de la pollution émise localement, renforcée par un import de pollution sur la région en milieu d'épisode puis, de nouveau, un ajout de pollution locale en fin de semaine.

Composition chimique des particules lors de l'épisode de mars 2014

Les particules regroupent de nombreux composés sous différentes formes chimiques : nitrate d'ammonium, sulfate d'ammonium, matière organique, carbone suie... Ce dernier, autrement appelé carbone élémentaire, carbone suie ou *black carbon*, est produit par des combustions incomplètes, issues du trafic routier notamment. L'origine des épisodes, notamment son caractère local ou non, peut être approchée à partir d'informations sur la composition chimique des particules rencontrées.

La figure 3 (graphe du haut) représente l'évolution des concentrations horaires de par-

ticules PM_{10} (en rouge) et du carbone suie (en noir) à Paris (fond urbain). Ces deux polluants sont représentés avec des échelles différentes. Lorsque les deux courbes se chevauchent, le carbone suie représente 10 % de la concentration en PM_{10} . Le graphe du bas représente l'évolution des concentrations horaires (dans la fraction PM_{10}) de nitrate, sulfate, ammonium et composés organiques, mesurés par les équipes de recherche du LSCE et LCSQA/INERIS sur le super-site atmosphérique du SIRTA, représentatif de la pollution régionale en Ile-de-France.

Durant cet épisode, les concentrations en carbone suie sont très importantes par rapport aux concentrations moyennes (de l'ordre de 1 à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentration la plus forte, de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, est enregistrée en tout début d'épisode, le 6 mars.

Les concentrations en carbone suie sont très variables au cours de l'épisode. Cette évolution est très liée à l'évolution des conditions météorologiques. Les trois phases de l'épisode décrites précédemment se distinguent nettement.

L'épisode démarre le 6 mars avec des conditions météorologiques peu favorables à la dispersion. Les concentrations en carbone suie sont alors en forte augmentation, ce qui indique une augmentation des concentrations de PM_{10} liées aux sources locales, en particulier le 6 et le 10. Les concentrations sont plus modérées les 8 et 9 mars, qui correspondent au week-end, au cours duquel les émissions liées au trafic sont réduites et plus diffusées sur la journée. Sur cette première période, le carbone suie représente jusqu'à 40 % des particules PM_{10} en concentration horaire. En revanche, les concentrations en composés inorganiques secondaires sont assez faibles.

Les 11 et 12 mars, un vent de nord-est se lève, amenant sur la région Ile-de-France des masses d'air continentales riches en particules. Une grande partie du Nord de la France est alors également impactée par un épisode de pollution. La composition chimique des particules change : la proportion de carbone suie dans les PM_{10} diminue fortement, tandis que les concentrations en nitrate et sulfate d'ammonium augmentent fortement. La présence de sulfate indique une contribution significative des imports de PM sur la région puisque la région Ile-de-France émet peu de dioxyde de soufre (à l'origine de la formation du sulfate), et que la formation de sulfate est typiquement de plusieurs jours en hiver. Aux

particules importées viennent notamment s'ajouter les particules secondaires de nitrate d'ammonium formées photochimiquement au-dessus de l'Ile-de-France à partir des précurseurs gazeux émis par la région : le NH_3 issu des épandages agricoles et les NO_x émis en grande partie par le trafic. La difficulté majeure reste de déterminer précisément la part de ce qui est importé de ce qui est émis au niveau de la région. Durant cette phase, le carbone suie représente moins de 5 % des particules PM_{10} .

Pendant les journées du 13 et 14 mars, les concentrations en carbone suie augmentent de nouveau, sous l'effet des conditions météorologiques peu dispersives. Pendant ces deux journées, la masse d'air polluée stagne sur l'ensemble du Nord de la France, et la pollution d'origine locale à la fois primaire et secondaire vient s'ajouter à une pollution de fond déjà importante, conduisant aux concentrations en particules les plus fortes de l'épisode.

Impact de la circulation alternée

Méthodologie employée

L'ampleur de l'impact de mesures locales telles que la circulation alternée dépend des conditions météorologiques du jour, de la situation de la pollution et du polluant concerné. Les outils de calculs et de modélisation d'Airparif permettent d'évaluer cet impact pour la journée du 17 mars 2014.

Hypothèses utilisées

- Situation de référence

Afin de pouvoir évaluer l'impact de la mesure de circulation alternée prise le 17 mars 2014, il convient de comparer la situation observée à cette date avec une situation de référence, représentative du trafic qu'il y aurait eu sans cette mesure.

La journée du lundi 10 mars 2014 est utilisée comme référence : c'est également un lundi, du même mois. Les conditions climatiques de cette date n'étaient pas dégradées (pas de pluie ou de neige qui impacterait le trafic), et ce lundi ne constituait pas un lundi de retour de congés.

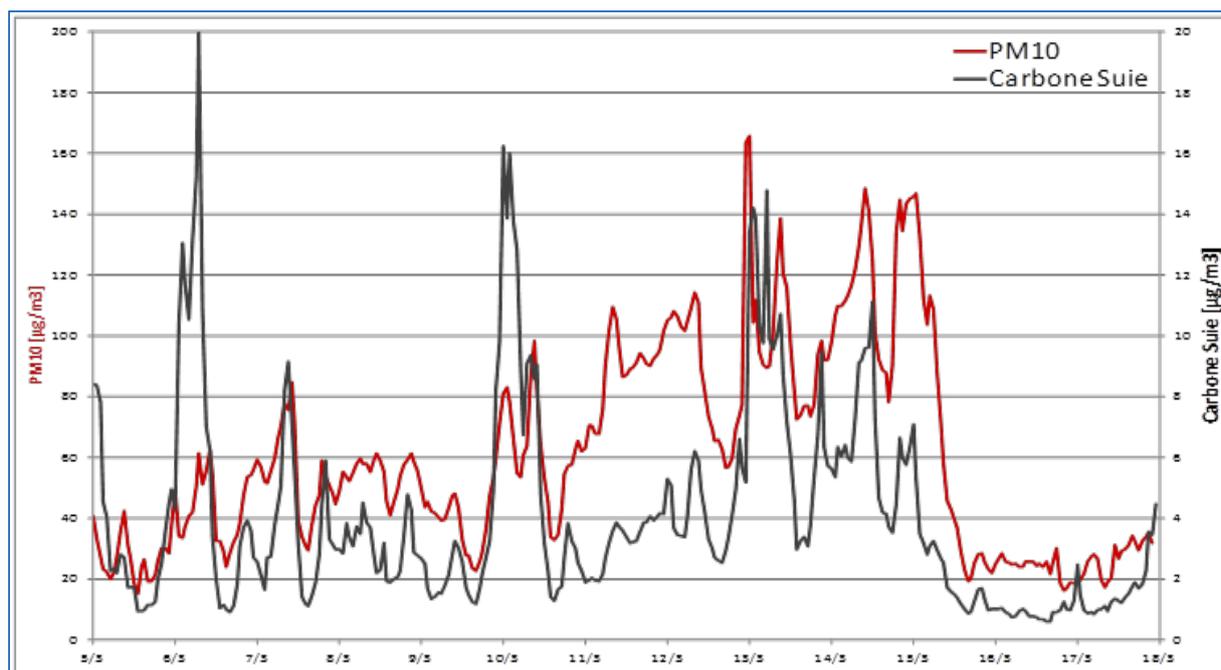


Figure 3.

Évolution des concentrations horaires de particules PM_{10} (en rouge) et du carbone suie (en noir) à Paris (fond urbain).

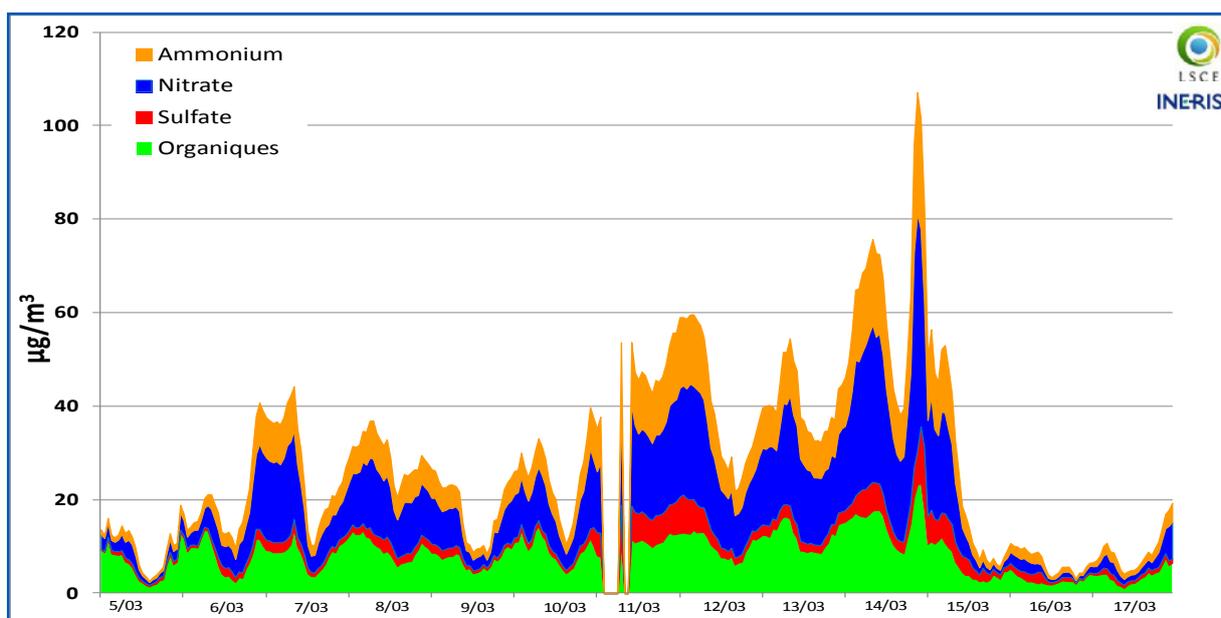


Figure 4.

Évolution des concentrations horaires d'ammonium, nitrate, sulfate, organiques.



Figures 5 et 6.

La circulation alternée à Paris le 17 mars 2014.

- Hypothèses sur le parc circulant

Pour mener à bien cette évaluation, Airparif ne dispose pas d'éléments précis sur le parc roulant circulant ce jour. Les véhicules n'étant pas clairement identifiés, nos estimations trafic sont basées sur des analyses moyennes de flotte roulante et des boucles de comptage réelles. Sans cette identification précise des véhicules, il n'est pas possible de connaître exactement quels véhicules ont circulé.

Impact sur le trafic routier

Les données utilisées sont celles issues du système HEAVEN³, recalé toutes les heures à partir de 400 points de comptages à Paris et environ 100 sur le reste de l'Ile-de-France. Ainsi les données de trafic utilisées intègrent toutes les mesures de restriction prises le 17 mars 2014, soit la réduction de vitesse sur les grands axes franciliens, le contournement des poids lourds en transit ainsi que la circulation alternée sur Paris et les 22 communes limitrophes. L'effet de ces

différentes mesures ne peut être examiné séparément.

Le tableau suivant montre l'écart de trafic entre le lundi 10 mars et lundi 17 mars. La mise en place de la circulation alternée a un impact variable suivant les zones géographiques avec -18 % de trafic sur Paris, -13 % sur Petite Couronne et - 9 % sur Grande Couronne.

Impact sur les émissions

Les émissions de polluants correspondent aux quantités de polluants directement rejetées dans l'atmosphère. Les émissions permettent d'évaluer l'impact des actions de réduction sur la source de la pollution. Le tableau ci-dessous montre le pourcentage de réduction des émissions évalué durant la journée du 17 mars. En moyenne sur la durée de la circulation alternée (5h30-24h), cette mesure a contribué à la baisse de 15 % des émissions liées au trafic routier en particules PM₁₀ et de 20 % des émissions d'oxydes d'azote.

Zones	Heure pointe du matin	Heure pointe du soir	Durée de la circulation alternée
Paris	- 9 %	- 21 %	- 18 %
Petite Couronne	- 6 %	- 15 %	- 13 %
Grande Couronne	- 4 %	- 10 %	- 9 %

Tableau 1.

Évolution du trafic le 17 mars en regard du trafic du 10 mars 2014 par secteur géographique.

HPM = de 7 à 9 h, heure locale, et HPS = de 18 à 20 h, heure locale.

Circulation alternée = de 5h30 à minuit, heure locale

En prenant en compte la journée de référence du 10 mars, un effet contrasté suivant les périodes de la journée est observé. En cohérence avec les données de trafic, la baisse sur les émissions durant les heures de pointe du soir a été plus importante que celle du matin. Pour les particules PM_{10} , la baisse des émissions est estimée à - 3 % sur les heures de pointe du matin et - 19 % sur celles du soir et respectivement - 9 % et - 23 % pour les émissions d'oxyde d'azote. Airparif ne possède pas d'assez d'éléments pour expliquer ce phénomène (temps de mise en place ? Effet comportemental ? Choix de la journée de référence ? Etc.).

Impact sur les concentrations ambiantes

Afin de mettre en avant l'impact de la circulation alternée sur les niveaux de pollution, Airparif a réalisé des cartes de « différence » entre les concentrations durant la journée de la circulation alternée et celles attendues ce jour-là sans mise en place de l'action (carte du jour avec le trafic de référence du 10 mars). Sur les cartes suivantes, une amélioration liée à la circulation alternée apparaît en bleu et une dégradation apparaîtrait en rouge.

L'évaluation de l'impact de la mise en place des restrictions de circulation, et notamment de la circulation alternée le 17 mars, montre un bilan global positif :

- En situation éloignée des axes routiers, une amélioration de presque 2 % (soit $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de particules PM_{10} a pu être constatée en moyenne sur la journée dans la zone de la mise en place de la circulation alternée.

- À proximité du trafic et notamment sur les

grands axes parisiens, la circulation alternée a eu un plus grand impact, notamment sur le Boulevard périphérique.

Pour les particules PM_{10} , la diminution induite par la mise en place de la mesure est estimée à plus de 6 % (soit $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de baisse) sur l'ensemble de la journée (5h30-24h). Certaines heures de la journée sont marquées par des baisses plus importantes, notamment l'heure de pointe du soir avec des diminutions supérieures à 10 % sur l'ensemble du Boulevard périphérique.

L'impact de cette action est encore plus important sur le dioxyde d'azote avec, en moyenne sur la journée, une baisse de 10 % sur l'ensemble du Boulevard périphérique. À l'heure de pointe du soir sur ce même axe routier, ces diminutions ont ponctuellement pu atteindre 30 % (voir figure 8).

Conclusions et perspectives

L'évaluation de l'impact de la mise en place des restrictions de circulation, et notamment de la circulation alternée le 17 mars, montre un bilan global positif avec des améliorations à la fois en situation de fond, c'est-à-dire éloignée des sources directes de pollution, ainsi qu'en situation de proximité au trafic routier.

En situation de fond, une amélioration de presque 2 % (soit $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de particules PM_{10} a pu être constatée en moyenne sur la journée dans la zone de la mise en place de la circulation alternée.

À proximité du trafic, et notamment sur les grands axes parisiens, la circulation alternée a eu un impact un peu plus grand, notamment sur le

Zones	Émissions de Particules PM_{10}	Émissions d'Oxyde d'azote (NOx)
Circulation Alternée (CA)	- 15 %	- 20 %
Petite Couronne hors CA	- 8 %	- 13 %
Grande couronne	- 4 %	- 9 %

Tableau 2.

Évolution des émissions le 17 mars avec et sans mesures de restriction de circulation par secteur géographique.

	Concentration particules PM ₁₀	Concentration dioxyde d'azote (NO ₂)
Loin des axes routiers	- 2 %	- 7 %
À proximité du trafic (exemple du Boulevard péri- phérique)	- 6 %	- 10 %

Tableau 3.

Impact moyen de la circulation alternée pour les particules PM₁₀ en Ile-de-France
(en % de diminution de concentration sur la durée de l'opération : 05h30-minuit)

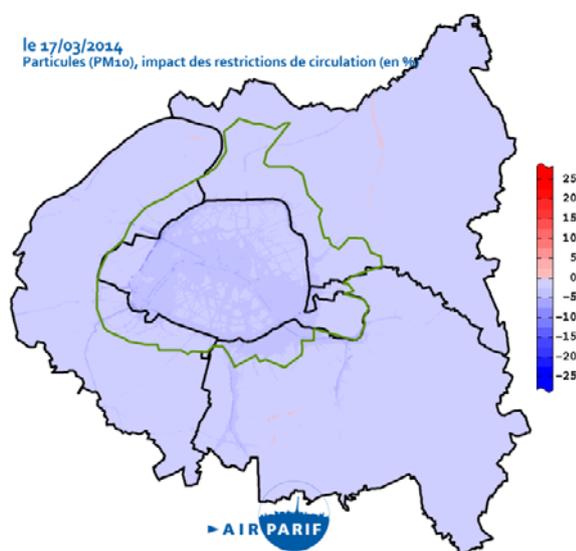


Figure 7.

En vert : limite de la zone de circulation alternée.

Boulevard périphérique.

Pour les particules PM₁₀, la diminution induite par la mise en place de la mesure est estimée à plus de 6 % (soit 4 µg/m³ de baisse) sur l'ensemble de la journée (5h30-24h). Certaines heures de la journée sont marquées par des baisses plus importantes, notamment l'heure de pointe du soir avec des diminutions supérieures à 10 % sur l'ensemble du Boulevard périphérique. Même si ces baisses peuvent apparaître comme modestes sur les niveaux de PM₁₀, elles concernent néanmoins une source (trafic) dont la toxicité est avérée.

En effet, le centre international de recherche sur le cancer (IARC), l'agence spécialisée de l'Organisation Mondiale de la Santé, a annoncé qu'elle classait la pollution de l'air extérieur comme cancérigène. Les particules fines, un composant majeur de la pollution ambiante,

ont aussi été évaluées séparément et ont également été classées comme cancérigènes. Le rapport de l'IARC montre qu'il existe une relation entre l'augmentation du risque de cancer du poumon et l'augmentation du niveau d'exposition aux particules et à la pollution de l'air. La pollution de l'air est déjà connue pour augmenter les risques de nombreuses maladies, telles que respiratoires et cardio-vasculaires. C'est pourquoi, pour les particules, toute diminution d'exposition représente une réelle amélioration en termes de santé publique.

L'impact de cette action est encore plus important sur le dioxyde d'azote avec, en moyenne sur la journée, une baisse de 10 % sur l'ensemble du Boulevard périphérique. À l'heure de pointe du soir sur ce même axe routier, ces diminutions ont ponctuellement pu atteindre 30 %.

Avec des conditions météorologiques différentes (par exemple par temps anticyclonique, avec peu de vent et une forte inversion de température), une amélioration plus importante peut être escomptée. Aussi, il est prévu de compléter cette analyse avec une étude académique, afin d'évaluer l'impact de la mise en place de la circulation alternée avec :

- une variation du trafic plus homogène sur la journée ;
- des conditions météorologiques différentes, notamment étudier un épisode de pollution hivernal local tel que celui observé en décembre 2013 ;
- l'interdiction de circuler pour les véhicules les plus polluants.

La circulation alternée n'est bien sûr pas la seule mesure pour réduire la pollution, mais cette

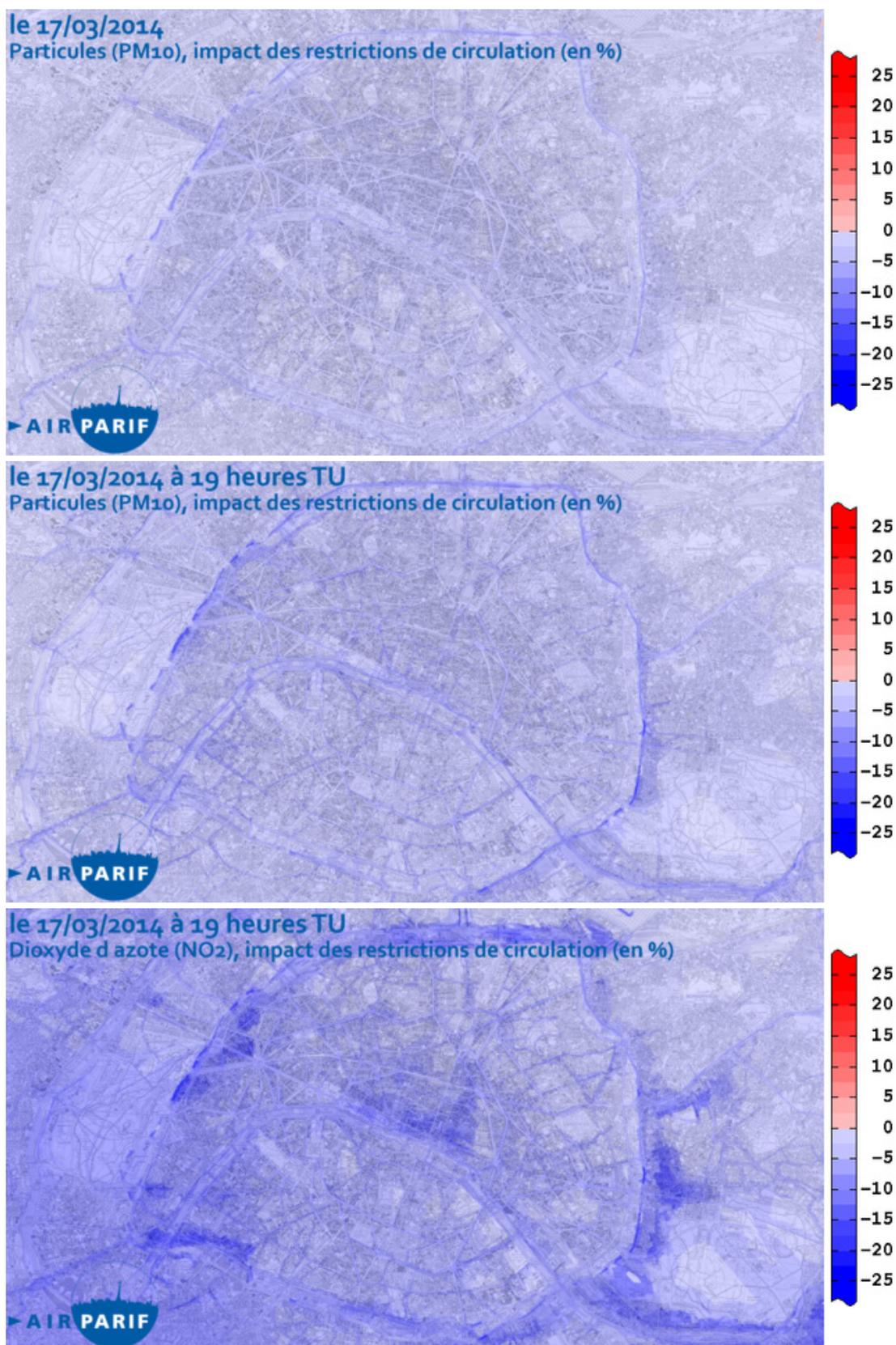


Figure 8a, b, c.

Maxima de baisse atteints en particules PM₁₀ et en dioxyde d'azote à 20h, lors de la pointe de trafic du soir (le Boulevard périphérique apparaît nettement).

étude lui est spécifiquement consacrée. La circulation alternée est certes une mesure ponctuelle sur le trafic mais elle constitue une action de réduction qui a un impact quantifiable et visible. Elle apporte ainsi des enseignements sur l'impact d'autres actions chroniques nécessaires pour abaisser la pollution due au trafic routier et plus généralement due à l'ensemble des sources de l'agglomération, telles que les mesures et les recommandations prévues par le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) approuvé le 25 mars 2013. Il convient également de rappeler le contexte de la région Ile-de-France, région densément peuplée et fortement urbanisée. Plus de

85 % de la population francilienne vit dans le cœur de l'agglomération parisienne soit 2 600 km². Les valeurs limites sont dépassées de manière récurrente en Ile-de-France pour les particules PM₁₀ depuis plusieurs années, chaque année entre un et quatre millions de Franciliens sont exposés à des niveaux de particules dépassant les limites réglementaires, et une procédure de contentieux est en cours entre la France et l'Union européenne.

Afin d'abaisser les niveaux globaux sur le long terme, des actions pérennes de grand envergure sont nécessaires.

1. Airparif
2. LSCE
3. Source HEAVEN : modèle de trafic routier exploité par Airparif et développé en collaboration avec la Ville de Paris et la DRIEA et alimenté par des données horaires de la Ville de Paris et de la DIRIF.