

Évaluation a priori et suivi au fil du temps des impacts des politiques locales de réduction des émissions de polluants atmosphériques

A priori assessment and a posteriori follow-up of the impact of air quality management local plans aiming at reducing air pollutant emissions

Cécile Honoré¹, Fabrice Joly¹, Charles Kimmerlin¹,
Véronique Gherzi¹, Patrick Garnoussi¹, Anne Kauffmann¹

Résumé

Dans le cadre d'une évaluation *a priori* ou du suivi *a posteriori* de l'impact d'un plan de gestion de la qualité de l'air à l'échelle locale, il est nécessaire de disposer de données spécifiques du territoire auquel s'applique ce plan. Le présent article détaille l'apport de données locales pour évaluer les émissions de deux secteurs clés pour l'Ile-de-France du point de vue de la qualité de l'air : le trafic routier et le chauffage résidentiel-tertiaire. Sous réserve de disposer de données précises à intervalle régulier dans le temps, la modélisation des émissions et des concentrations permet le suivi *a posteriori* de l'efficacité d'un plan. Le suivi de traceurs spécifiques de sources d'émissions, tels que le carbone suie pour le trafic routier ou le chauffage au bois, constitue un élément alternatif de suivi de l'impact de mesures de réduction des émissions relatives à ces secteurs.

Mots-clés

pollution de l'air, qualité de l'air, analyse de scénarios, modélisation, évaluation, suivi, indicateurs

Abstract

In the context of an a priori assessment or a posteriori follow-up of the impact of an air quality management plan at the local level, it is necessary to have data specific to the territory to which applies this plan. This article details the contribution of local data to evaluate the emissions of two key sectors for Ile-de-France in terms of air quality: road traffic and residential-tertiary heating. Provided accurate data at regular intervals over time are available, emission and concentration modeling allows for a posteriori monitoring of the effectiveness of a plan. Monitoring specific emission source tracers, such as black carbon for road traffic or wood heating, is an alternative way of monitoring the impact of emission reduction measures in these sectors.

Keywords

air pollution, air quality, scenario analysis, modelling, assessment, monitoring, indicators

(1) Airparif, Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France, 7 rue Crillon, 75004 Paris

1. Introduction : enjeux des travaux d'accompagnement

L'évaluation *a priori* de l'impact des plans de gestion de la qualité de l'air fait partie intégrante de leur conception : il s'agit d'évaluer les gains attendus en matière d'émissions, de concentrations et/ou d'exposition de la population, au regard des dépenses engagées pour réduire les émissions de polluants.

Airparif dispose d'une expertise de plusieurs années sur ce sujet et a participé à l'évaluation du plan de déplacements urbains de la région Ile-de-France, du plan de protection de l'atmosphère de la région Ile-de-France, adopté en 2013, et de celui actuellement en cours de révision. Des travaux ont également été réalisés afin de fournir des éléments de cadrage en vue de la conception d'une zone de basses émissions : en 2011-2012, avec l'étude portant sur la Zone d'Actions Prioritaires pour l'Air (ZAPA) ; actuellement, Airparif participe à l'évaluation *a priori* des impacts de la Zone de Circulation Restreinte (ZCR) parisienne, au fur et à mesure du renforcement de la restriction de circulation, ainsi qu'à l'évaluation d'une ZCR plus large (sur toute la zone à l'intérieur de l'A86). Toutes ces études s'appuient sur une chaîne d'outils de modélisation, allant de la modélisation des émissions dans le périmètre des plans à la modélisation des concentrations en polluants atmosphériques réglementés – NO₂, particules PM₁₀ et PM_{2,5}, ozone, benzène... – jusqu'à l'estimation de l'exposition des habitants des zones concernées par les plans. Ces données peuvent ensuite être utilisées pour des évaluations d'impact sanitaire ou de coûts globaux de la mise en œuvre des plans.

Un autre aspect de l'exercice d'évaluation de l'impact d'un plan de gestion de la qualité de l'air concerne son suivi à partir de sa mise en œuvre. Ce suivi fait également partie intégrante des plans, car il est nécessaire d'évaluer si les actions projetées et mises en place produisent bien les effets escomptés (*i.e.* évalués *a priori*). Cet exercice est compliqué par le fait qu'il existe de nombreux facteurs confondants, au premier rang desquels la météorologie ; dans une moindre mesure, l'évolution naturelle du parc de véhicules ou des équipements de chauffage...

Dans la première partie de cet article, un zoom est proposé sur la construction des données d'entrée de deux secteurs clés d'activités en région Ile-de-France : le trafic routier et le secteur résidentiel et tertiaire. Dans une seconde partie, les différents outils, disponibles dès à présent ou dans un futur proche pour le suivi des plans, sont décrits.

2. Évaluation a priori de l'impact des mesures de réduction des émissions de polluants atmosphériques : importance des données d'entrée

Si les outils de modélisation sont maintenant suffisamment aboutis pour être appliqués à des évaluations prospectives, un travail important et spécifique est à réaliser sur les données d'entrée. Celles-ci doivent être les plus précises et les plus à jour possible afin de rendre compte, à travers l'exercice de modélisation prospective, de l'évolution des émissions et des impacts qui en résultent.

Pour illustrer ce point, les données disponibles sur l'Ile-de-France ont été comparées.

L'IFSTTAR¹ a piloté le projet de recherche Za-ParC² (avec le soutien du programme PRIMEQUAL mis en œuvre par le MEEM³ et l'ADEME), dont un des objectifs était d'améliorer la connaissance des parcs automobiles dans l'agglomération parisienne. Pour cela, des observations vidéo du trafic routier ont été réalisées en 2013 et ont permis d'échantillonner près de 560 000 véhicules sur 9 sites répartis à Paris, sur le boulevard périphérique, dans le département des Hauts-de-Seine ainsi qu'en Seine-Saint-Denis, sur des périodes d'observation allant de 2 à 10 jours.

En novembre 2014, la mairie de Paris a réalisé une enquête (dite « enquête plaques ») en des points représentatifs de la circulation de Paris *intra muros*. Près de 35 000 relevés de plaques minéralogiques exploitables ont été effectués manuellement, déterminant ainsi les caractéristiques des véhicules après un rapprochement avec la base de données des cartes grises.

Pour les bus, les informations ont été fournies par le STIF⁴, tandis que les données nationales du CITEPA⁵ relatives aux cars ont été utilisées.

À titre d'exemple, la figure 1 présente les parcs technologiques urbains pour les véhicules particuliers regroupés par norme Euro pour les différentes sources de données et pour l'année 2014. L'étude Za-ParC ayant été réalisée en 2013, le parc a été « vieilli » d'une année à partir des évolutions du CITEPA. Aux données citées précédemment, les données HBEFA⁶ de parc de véhicules particuliers pour la France ont été ajoutées.

(1) Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux.

(2) Parcs automobiles en Circulation et évaluation de l'impact de mesures de restriction d'accès de type ZAPA sur les émissions de polluants.

(3) Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer.

(4) Syndicat des Transports d'Ile-de-France.

(5) Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique.

(6) Handbook Emission Factors for Road Transport.

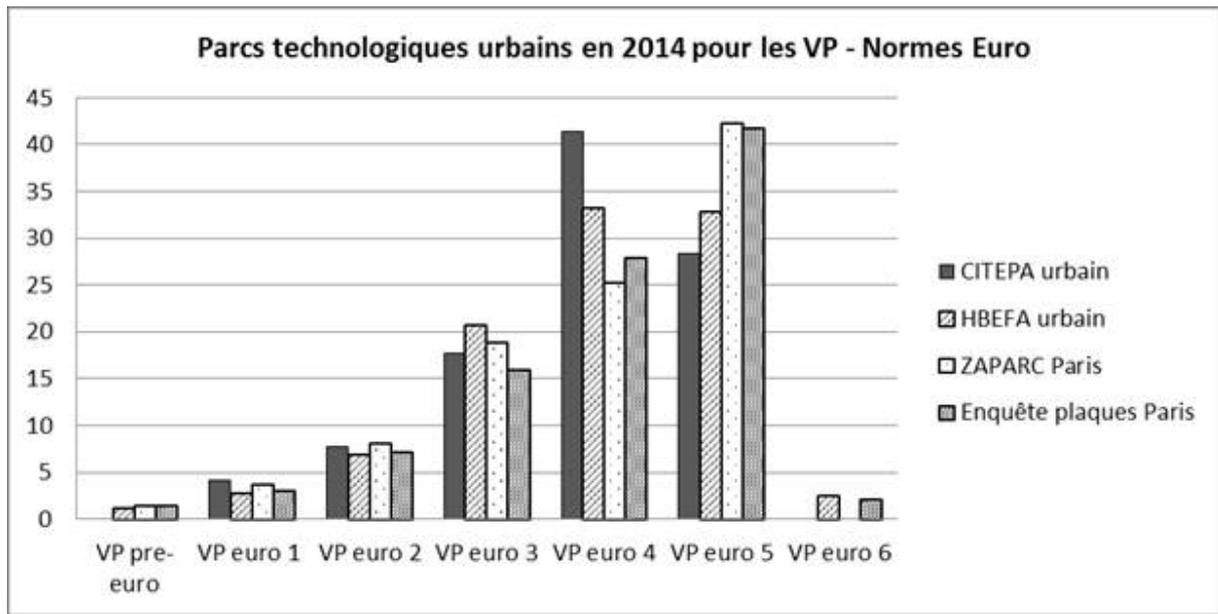


Figure 1. Comparaison des parcs technologiques urbains de véhicules particuliers (VP) en 2014 par norme Euro

(sources : CITEPA, HBEFA, Za-ParC, ville de Paris, traitement Airparif).

Comparison of urban technological parks of personal cars (VP) for year 2014 depending on Euro standards.

Cette figure met en évidence les écarts importants existant entre les différentes sources de données, et donc la nécessité de travailler sur la base des données les plus réalistes possible à l'échelle locale. En effet, la figure 2 montre distinctement deux groupes, les parcs nationaux, d'une part (CITEPA et HBEFA) et les parcs locaux (enquête plaques et Za-ParC). Pour ces derniers, la part de véhicules Euro 5 est plus importante (42 % en moyenne) que dans les parcs nationaux (30 % en moyenne). Le parc parisien serait donc plus récent que le parc moyen national, avec tout de même une persistance non négligeable des véhicules pré-Euro (près de 2 %), alors que ce type de véhicules particuliers n'apparaît plus dans le parc CITEPA.

Des différences sont également à noter sur la distribution des véhicules particuliers selon la motorisation (carburant ou cylindrée des véhicules). Le parc parisien de véhicules particuliers est, par exemple, moins diésélisé que le parc urbain national, avec 65 % de véhicules particuliers diesel pour les parcs enquête plaques et Za-ParC, contre 70 % pour les parcs CITEPA et HBEFA. Par ailleurs, les véhicules particuliers apparaissent de cylindrée inférieure à Paris par rapport à l'échelle nationale.

De même, pour le parc roulant, les données nationales font état d'à peine 4 % en moyenne de deux-roues motorisés dans la flotte des véhicules circulant en zone urbaine (CITEPA, 2017). Or les enquêtes de composition du trafic, réalisées en 2014 par la ville de

Paris, témoignent d'une part importante de ce type de véhicules dans le trafic parisien : en moyenne journalière, la part des deux-roues motorisés dans le parc roulant oscille entre 10 et 26 % selon les sites de mesure ; à l'heure de pointe du matin, elle atteint en moyenne 21 % (tous sites confondus ; cf. figure 2).

La photographie du parc technologique et roulant doit être la plus fidèle et représentative possible à l'échelle locale. Dans le cadre d'évaluations prospectives des émissions, et de la qualité de l'air qui en découle, ignorer les spécificités locales peut engendrer d'importants artéfacts. La restriction de circulation dans le cadre de la ZCR est en effet définie à la fois selon les catégories de véhicules, l'âge (au travers la norme Euro) et la motorisation des véhicules (carburant). Des différences significatives dans la composition du parc roulant et technologique engendrent naturellement des divergences sur les gains d'émissions attendus par la mise en œuvre de telles mesures en faveur de la qualité de l'air. Les gains potentiels d'émissions évalués à un horizon de plusieurs années *via* des études de scénarios peuvent être ainsi minimisés ou, au contraire, maximisés selon les écarts avec la situation réelle.

Dans le cadre des études préalables en lien avec la mise en place d'une Zone de Circulation Restreinte (ZCR) à Paris (Airparif, octobre 2016) ou d'une potentielle ZCR intra A86, Airparif a raffiné la caractérisa-

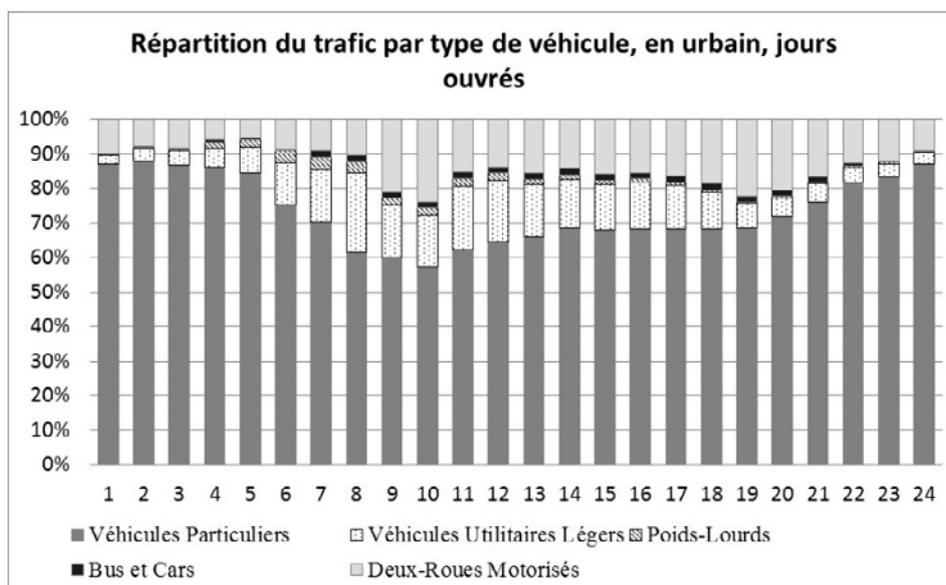


Figure 2. Parc roulant pour un jour ouvré sur les axes parisiens selon les heures de la journée

(source : ville de Paris, traitement Airparif).

Vehicle fleet on a working day on the Parisian axes according to the hours of the day.

tion du parc roulant⁷ et du parc technologique⁸ actuel pour les zones géographiques et typologies d'axes suivantes : Paris, boulevard périphérique, routes et autoroutes. Cela a été réalisé grâce à la prise en compte de diverses sources de données, spécifiques des zones mentionnées ci-dessus, présentées dans le tableau page suivante.

La connaissance du trafic routier présente un second verrou pour le calcul fin et précis des émissions et des gains associés à des politiques de réduction des émissions des polluants atmosphériques. En effet, les modèles généralement utilisés par les organismes en charge de la gestion opérationnelle du trafic routier fournissent les volumes et vitesses de trafic aux heures de pointe du matin et du soir. Or l'évaluation des émissions de polluants liées au trafic routier nécessite de connaître celui-ci à toute heure de la journée, afin d'alimenter un modèle de calcul des concentrations.

Un travail spécifique de reconstitution du trafic routier à l'échelle horaire sur l'ensemble de l'année doit donc être entrepris sur environ 10 000 km de voirie modélisés en Ile-de-France. Cet exercice requiert l'accès à des connaissances précises relatives à la dynamique du trafic horaire pour la situation actuelle (volume,

(7) Le parc roulant est défini par un pourcentage des kilomètres totaux, réalisé pour chaque grande catégorie de véhicules (VP, VUL, PL, TC, 2RM) dans un périmètre d'intérêt.

(8) Le parc technologique définit la répartition des grandes catégories de véhicules (VP, VUL, PL, TC, 2RM) par sous-catégories technologiques (motorisation, norme Euro, équipements spécifiques).

vitesse). La répartition horaire du trafic routier est réalisée en s'appuyant sur des profils locaux de trafic (flux et vitesses) à différentes échelles temporelles (mois, semaine, journée) et spatiales (Paris *intramuros*, boulevard périphérique, routes et autoroutes). Cela permet de prendre en compte les évolutions temporelles que peut connaître localement le trafic routier (baisse de trafic au mois d'août, le weekend, etc.) et les spécificités de ces paramètres selon les typologies d'axes rencontrés en Ile-de-France.

Enfin, certains facteurs d'émission du trafic routier sont entachés de fortes incertitudes, à l'instar de ceux liés à l'abrasion des pièces mécaniques ou des routes. Or les émissions hors-échappement représentent une part croissante des émissions du trafic (actuellement de 30 à 50 %, davantage à l'horizon des plans de gestion de la qualité de l'air), du fait de la baisse des émissions à l'échappement. Les facteurs d'émissions à l'échappement sont mieux connus, mais leur connaissance est limitée par le faible nombre de données disponibles pour les véhicules, en particulier à la date de mise en service des nouvelles normes. Ainsi, les bases de données de facteurs d'émissions du trafic routier sont-elles revues régulièrement et enrichies. Dans l'optique de mieux appréhender la variabilité des facteurs d'émission, en particulier en conditions réelles de conduite, Airparif s'est lancé récemment dans une démarche d'évaluation des émissions à l'échappement.

Un autre secteur d'activité à enjeu, du point de vue de la qualité de l'air francilienne, est celui du chauffage résidentiel et tertiaire. En effet, en Ile-de-France,

Tableau 1. Sources de données utilisées pour construire le parc technologique pour l'Île-de-France, pour l'année 2014.

Data sources used to build the technological park for the Paris region for year 2014.

Catégories de véhicules	Paris	Boulevard Périphérique (BP)	Routes hors Paris	Autoroutes
Véhicules particuliers	Enquête plaques	Za-ParC BP	Za-ParC 92+93	Za-ParC moyen
Véhicules utilitaires légers	Enquête plaques	Za-ParC BP	Za-ParC 92+93	Za-ParC moyen
Poids lourds	Za-ParC Paris	Za-ParC BP	Za-ParC 92+93	Za-ParC moyen
Bus et cars (TC)	STIF pour les bus CITEPA urbain pour les cars	STIF pour les bus CITEPA autoroute pour les cars	STIF pour les bus CITEPA route pour les cars	STIF pour les bus CITEPA autoroute pour les cars
Deux-roues motorisés	Enquête plaques	Za-ParC BP	Za-ParC 92+93	Za-ParC moyen

les émissions liées à ce secteur représentent, en 2014, 35 % des émissions de particules PM₁₀, dont 86 % sont directement émises par le chauffage au bois, alors que celui-ci représente moins de 5 % de la consommation énergétique régionale pour le chauffage. En ce qui concerne les émissions unitaires de particules PM₁₀, il existe de fortes disparités selon le type d'équipement utilisé pour le brûlage du bois, ainsi que le résume le tableau 2.

Pour évaluer l'impact sur la qualité de l'air de mesures portant sur le secteur résidentiel, que ce soit l'évolution du parc d'appareils de chauffage, du type de logements ou du développement de la biomasse à l'échelle régionale, il est crucial de disposer d'une bonne vision et d'un bon suivi de l'évolution des différents paramètres qui conditionnent les émissions de particules fines liées à la combustion de biomasse dans le secteur résidentiel et tertiaire à l'échelle régionale. De la même manière que pour le calcul des émissions du trafic routier, connaître le parc d'équipements de chauffage au bois utilisé est indispensable au calcul des émissions associées. D'autres paramètres tels que la qualité du bois, son degré d'humidité ou encore l'entretien des équipements de chauffage au bois influent fortement sur les niveaux d'émissions et augmentent l'incertitude associée aux facteurs d'émissions associés à ce parc d'équipements. Les premières moutures de l'inventaire des émissions franciliennes se basaient sur la méthodologie *bottom up* présentée dans le tableau 3.

L'usage du bois en chauffage d'appoint faisait l'objet d'un traitement statistique spécifique issu des données nationales de probabilité d'usages, en fonction du combustible principal et du type de logement (CEREN, 2008). À l'échelle nationale, l'usage du bois en appoint en appartement était négligé et, faute d'in-

formation, cette hypothèse avait été conservée pour l'Île-de-France.

Or, en 2014, une enquête financée par l'ADEME Île-de-France et réalisée auprès de Franciliens (ADEME/BVA, mars 2015) a permis de mieux appréhender l'usage du bois dans le chauffage résidentiel et tertiaire et, de ce fait, l'évaluation des émissions liées à celui-ci et *in fine* l'évaluation des impacts de mesures de gestion de la qualité de l'air portant sur l'usage du bois dans le secteur résidentiel et tertiaire.

L'exploitation des résultats de cette enquête par Airparif a permis de dresser les profils franciliens d'utilisateurs de chauffage au bois, ainsi que de quantifier les consommations annuelles moyennes par logement, selon :

- la zone géographique : Paris, le reste de la zone sensible⁹, le reste de l'Île-de-France ;
- le type de logement : maison, appartement ;
- l'usage du bois de chauffage : chauffage principal, chauffage d'appoint, chauffage d'agrément ;
- l'équipement : foyer ouvert, foyer fermé d'avant 2002, foyer fermé entre 2002 et 2007, foyer fermé d'après 2007. La notion de foyer fermé est ici prise au sens large et inclut les inserts, les poêles, les cuisinières et les chaudières.

(9) Zone de forte densité de population (ou présence de zones naturelles protégées) soumise à des dépassements des valeurs limites pour certains polluants (PM₁₀ et NO₂). Sur ces zones, les actions en faveur de la qualité de l'air sont prioritaires. En Île-de-France, la zone sensible englobe 435 communes et plus de 10 millions d'habitants. Elle correspond à l'agglomération parisienne et à l'agglomération de Meaux.

Tableau 2. Facteurs d'émissions PM₁₀ en g/GJ relatifs à la consommation de bois, utilisés par Airparif

(sources : ADEME (2009) et CITEPA).

PM₁₀ emission factors in g/GJ related to wood consumption used by Airparif.

Équipement de chauffage au bois	Avant 1996	1996-2007	Après 2007	Flamme verte 5*	Flamme verte 6*	Flamme verte 7*
Foyers ouverts (cheminées)	712.5	712.5	712.5			
Chaudières	237.5	95	47.5	38	25	19
Foyers fermés (inserts, poêles et cuisinières)	665	247	133	62	35	28

Tableau 3. Méthodologie simplifiée de calcul des consommations énergétiques et des émissions du secteur résidentiel.*Simplified calculation method of energy consumption and emissions in the residential sector.*

Traitement	Données d'entrée
1- Modélisation du parc logement à l'échelle géographique de l'Iris ou de la commune, selon : le type (maison, appartement), la catégorie (principale, secondaire), le mode de chauffage, la source d'énergie, la surface, la période de construction et l'appartenance à un organisme HLM	INSEE RGP SITADEL2
2- Calcul des consommations énergétiques : croisement du nombre de logements avec les consommations unitaires par sources d'énergie, usages et typologies des logements	CEREN (2008)
3- Correction climatique des consommations énergétiques à climat réel francilien	MÉTÉO FRANCE COSTIC
4- Mise en cohérence des consommations énergétiques par énergie à l'échelle régionale avec les statistiques officielles	SOeS, SNCU, CPDP, RTE, GrDF, ErDF
5- Calcul des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en croisant les consommations énergétiques avec les facteurs d'émissions	CITEPA ADEME (2009) pour le bois

Le nombre de logements ayant recours dans l'année au chauffage au bois serait de 716 000 en 2014, réparti de la manière suivante :

L'exploitation de cette description du parc logement utilisant le bois pour le calcul des émissions associées est riche d'enseignements :

- l'utilisation du chauffage au bois en Ile-de-France en appartement ne peut être négligée ;
- le chauffage au bois en Ile-de-France est très

majoritairement utilisé en appoint et en agrément ;

- les foyers ouverts et les foyers fermés anciens représentent 56 % des équipements et sont à l'origine des trois quarts des émissions primaires de PM₁₀ liées au chauffage au bois.

La connaissance fine du parc d'équipements et le calcul des émissions associées permettent d'estimer la sensibilité des émissions du chauffage au bois résidentiel et tertiaire à ce paramètre et les gisements de gains d'émissions afin d'anticiper l'impact de mesures

Logements

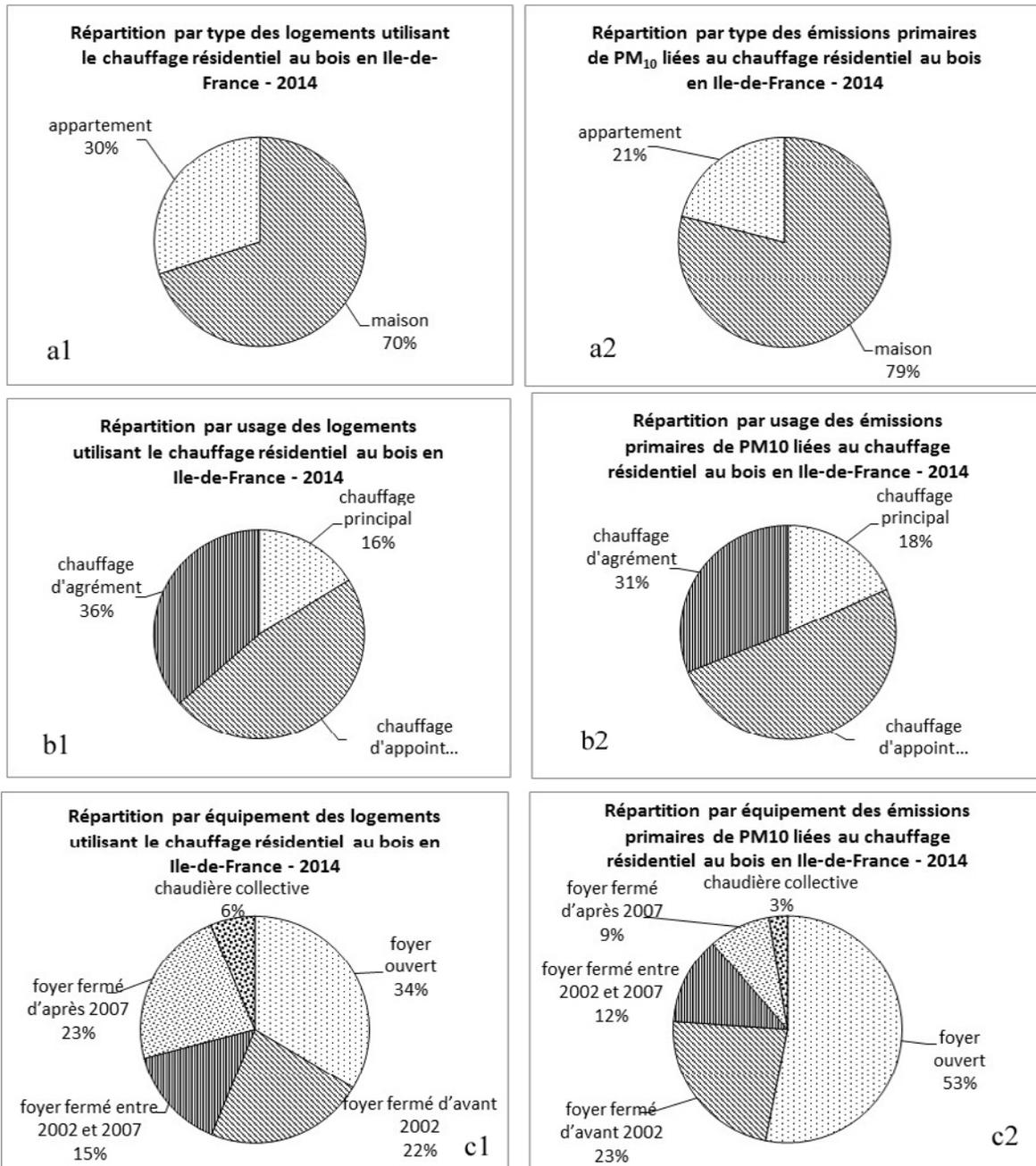
Emissions primaires de PM₁₀

Figure 3. Répartition des logements utilisant le chauffage au bois en Ile-de-France, en 2014, par type de logement (a1), d'usage (b1) et d'équipement (c1). Répartition des émissions primaires de PM₁₀ liées au chauffage résidentiel en Ile-de-France, par type de logement (a2), d'usage (b2) et d'équipement (c2).

Distribution of wood heating housing in the Paris region for the year 2014, by type of housing (a1), use (b1) and equipment (c1). Distribution of primary PM₁₀ emissions (residential and service sector) in the Paris region, by type of accommodation (a2), heating use (b2) and equipment (c2).

de réduction des émissions. Ces données sont, par exemple, utilisées pour les travaux de dimensionnement de la mise en place des Fonds Air ou Air Bois en Ile-de-France visant à aider financièrement les particuliers pour une modernisation des équipements de chauffage au bois.

L'exercice d'évaluation *a priori* des politiques locales de réduction des émissions polluantes se décline en plusieurs étapes : évaluation des impacts sur les émissions, puis sur les concentrations qui en découlent, et sur l'exposition des populations. Ce dernier volet des évaluations est souvent réalisé à population constante. Un enjeu pour les travaux d'évaluation à venir est de travailler sur des projections des données de population et d'emplois. Ceci est d'ores et déjà engagé *via* des travaux en collaboration avec l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France (IAU Ile-de-France).

3. Suivi au fil du temps de l'efficacité des plans de gestion de la qualité de l'air

Le suivi de l'efficacité d'un plan de gestion de la qualité de l'air doit être réalisé par le biais d'indicateurs pertinents, permettant d'évaluer si les actions mises en place produisent bien les effets escomptés (*i.e.* évalués *a priori*). Classiquement, le suivi des émissions des différents secteurs d'activité concernés par le plan de gestion est réalisé.

Comme pour l'exercice de projection, cela nécessite de disposer de données d'entrée suffisamment précises et relatives au périmètre d'intérêt. Dans le suivi au fil du temps, les données d'entrée intègrent autant que possible des observations : c'est le cas, par exemple, des données de trafic routier : les modélisations réalisées au fil du temps sont corrigées de données de comptage (500 dans le périmètre de la ville de Paris, environ 250 pour le reste de l'Ile-de-France⁽¹⁰⁾). Les enquêtes plaques réalisées en 2011, 2014, 2016 par la ville de Paris permettent d'affiner la connaissance du parc technologique parisien et de prendre en compte des spécificités locales. En ce qui concerne le secteur résidentiel, dans le futur, la prise en compte d'informations issues des dispositifs d'incitation à la rénovation thermique (fonds Air Bois, fonds ANAH⁽¹¹⁾, CITE⁽¹²⁾) permettra d'avoir une vision précise de l'évolution des émissions du secteur. Plus largement, le CEREN fournit régulièrement des données sur la consommation d'énergie dans le résidentiel-tertiaire et l'industrie. Afin de permettre le suivi au fil du temps, les données d'entrée doivent être disponibles

(10) Les valeurs indiquées correspondent au nombre maximal de données de comptage disponibles.

(11) Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat.

(12) Crédit d'Impôt pour la transition Énergétique.

à intervalles réguliers tout au long de la vie du plan. Les calculs des émissions peuvent ainsi être réalisés pour les secteurs d'activités d'intérêt, à méthodologie constante. L'étude de l'évolution des niveaux d'émissions renseigne sur l'efficacité du plan.

Cependant, les émissions d'un secteur d'activité n'évoluent pas uniquement sous l'effet de mesures prises de façon volontaire dans le plan de gestion ; il existe une évolution fil de l'eau à laquelle se superpose l'évolution sous l'effet des mesures prises. L'exercice de modélisation des émissions peut permettre, dans une certaine mesure, de distinguer ces deux effets. C'est ce qui est fait au stade de l'évaluation prospective, où l'évaluation des émissions est réalisée dans le cadre d'un scénario « fil de l'eau », auquel sont appliquées ensuite les hypothèses associées aux mesures du plan étudié.

Cet exercice a été réalisé en 2013 pour évaluer les gains sur les émissions liées au trafic routier de la politique globale dans ce domaine de la ville de Paris, sur la période 2002-2012 : Airparif a mené des travaux visant à distinguer et hiérarchiser l'influence des évolutions du volume et de la vitesse du trafic routier, de celles des évolutions du parc routier (parc roulant et technologique) sur la période (Airparif, juillet 2013). L'évolution du trafic routier est imputable notamment à la politique d'aménagement de la voirie de la ville de Paris et de ses effets sur, par exemple, le report modal en faveur des transports en commun et des modes actifs tels que le vélo ou la marche à pied.

La modélisation du trafic routier définissant son volume et sa vitesse a été réalisée rétrospectivement par les services de la mairie de Paris. Concernant le parc roulant⁽¹³⁾ et technologique⁽¹⁴⁾, les enquêtes réalisées par la mairie de Paris ont été utilisées afin de prendre en compte à la fois les spécificités locales et leurs évolutions sur la décennie étudiée : part importante des deux-roues motorisés circulant aux heures de pointe du matin et du soir, part des normes « Euro » circulant à Paris, part des véhicules diesel et essence dans le parc de véhicules particuliers, etc.

Dans cette étude, la qualité de l'air était caractérisée par les concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) et en particules (PM₁₀, PM_{2,5}), polluants majoritairement émis par le trafic routier (sous forme de NOx et de particules).

La figure 4 présente l'évolution des émissions parisiennes liées au trafic routier de NOx et de PM₁₀ entre (13) Enquêtes mairie de Paris « Composition du trafic Paris intramuros 2002 et 2009 » et « Corridor 2002 et 2008 ».

(14) Données mairie de Paris : Étude Plan de déplacements de Paris 2006. Enquête globale des transports 2001, « Enquête plaques 2011 ».

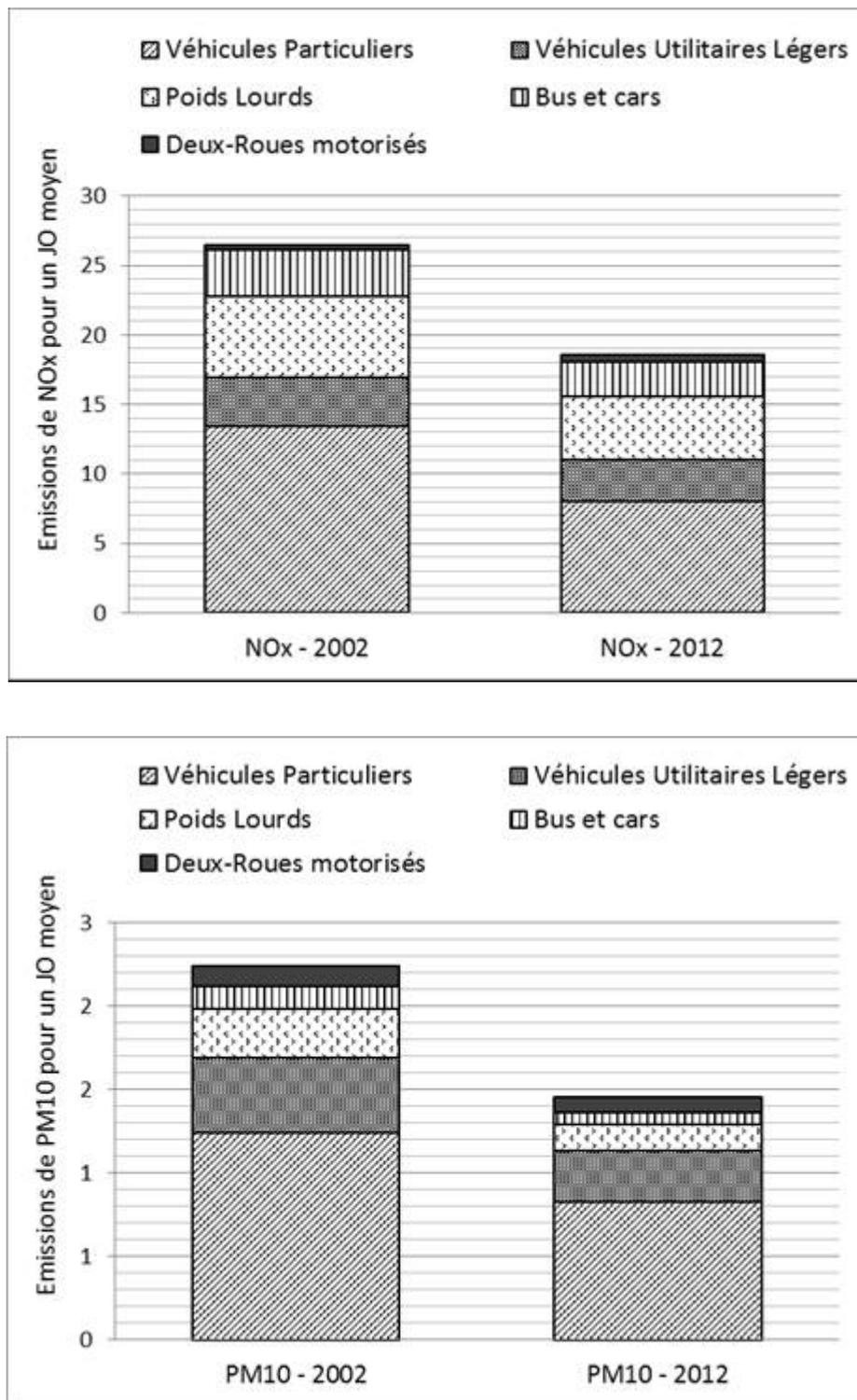


Figure 4. Quantités de NO_x et de particules PM₁₀ émises pour un jour ouvré (JO) moyen par le trafic routier parisien, en 2002 et 2012, en distinguant la part des différentes catégories de véhicules.
Amount of NO_x and PM₁₀ particles emitted on average on a working day by the Parisian traffic for year 2002 and year 2012 (the contribution of the different categories of vehicles is mentioned).

Tableau 4. Impact de l'évolution 2002-2012 des paramètres étudiés sur les émissions de NOx et de particules PM₁₀.

Impact of evolution 2002-2012 of the studied parameters on NOx and PM₁₀ particles emissions.

Paramètres	Oxydes d'azote NOx	Particules PM ₁₀
Aménagements de voirie	- 11%	-9%
Parc roulant	+3%	+6%
Parc technologique	-24%	-45%
Motorisation (essence/diesel)	+11%	+13%

2002 et 2012 pour un jour ouvré moyen, en distinguant la contribution des différentes catégories de véhicules. Pour l'ensemble des polluants, les émissions imputables au trafic routier entre 2002 et 2012 ont diminué de 30 % (NOx) à 40 % (PM_{2,5}), compte-tenu à la fois de la baisse du flux de trafic à Paris et de l'évolution du parc technologique vers un parc moins polluant, caractérisé par l'introduction de nouvelles normes Euro.

La modélisation a ensuite permis de détailler et d'isoler les impacts des différents paramètres d'influence sur les émissions à l'échappement et hors échappement (abrasion). L'impact individuel de chaque facteur d'influence sur les émissions de NOx et de particules a été étudié, à savoir les aménagements de voirie à travers l'évolution du trafic routier (nombre et vitesse des véhicules circulants) ; la composition du parc roulant et celle du parc technologique. Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus concernant la contribution de chacun de ces paramètres à l'évolution des émissions de polluants entre 2002 et 2012, toutes choses égales par ailleurs.

Ce suivi de l'indicateur d'émissions à l'aide des outils de modélisation a été décliné au niveau des concentrations et essentiellement *via* des indicateurs d'exposition : population, superficie et kilomètres de voiries exposés aux normes de la qualité de l'air en vigueur. Ce travail a été réalisé en étudiant de nouveau la contribution de chaque paramètre à l'évolution des concentrations. Cette démarche permet d'isoler l'impact des différents facteurs d'influence sur l'évolution des teneurs de pollution atmosphérique. Enfin, une modélisation globale a aussi permis de quantifier l'évolution 2002-2012 des émissions et des concentrations due à l'évolution de l'ensemble des paramètres.

L'efficacité d'un plan de gestion de la qualité de l'air peut aussi être suivie par la mesure à moyen et long terme des concentrations des polluants réglementés, notamment le dioxyde d'azote et les particules PM₁₀, dans la mesure où ces polluants sont bien émis – et dans des proportions non négligeables – par les secteurs ciblés par les mesures de réduction des émissions polluantes que l'on cherche à évaluer. À nouveau, cet exercice est

complexe, du fait qu'il existe de nombreux facteurs confondants (contexte météorologique, sources variées...). L'utilisation de traceurs plus spécifiques des sources d'émissions ciblées permet un suivi plus efficace de l'impact de mesures concernant ces sources.

La mesure du carbone suie (ou BC pour Black Carbon) dans les particules constitue un indicateur pertinent pour le suivi de l'efficacité des mesures de réduction mises en place sur les sources de combustion (trafic, installations de combustion). En effet, les mesures de carbone suie présentent une amplification du signal trafic par rapport aux mesures d'autres composés (NO₂ ou PM₁₀), qui ont des sources plus diverses. Cette amplification s'observe aussi bien en moyenne que sur les niveaux journaliers, comme le montrent les profils temporels représentés ci-dessous.

Dans ces figures, les concentrations mesurées sur le site de proximité au trafic sont en moyenne 1,5 fois plus élevées que celles mesurées sur le site de fond urbain pour les particules PM₁₀, tandis qu'elles sont près de 4 fois plus élevées en moyenne pour le carbone suie. Ce différentiel plus important entre les niveaux liés aux émissions du trafic et les niveaux de fond permet de mieux appréhender l'impact de mesures de gestion de la qualité de l'air portant spécifiquement sur le trafic routier.

Suite aux conclusions du projet PREQUALIF-IZNOGOU¹⁵, des aethalomètres multi-longueurs d'onde ont été mis en œuvre sur le réseau de mesure d'Airparif en 2015. Leur principe de mesure repose sur l'atténuation d'un faisceau lumineux à travers un échantillon de poussières atmosphériques déposées sur un filtre. Le carbone suie a en effet la propriété d'absorber le rayonnement lumineux. Cette atténuation dépend de la composition chimique des particules et varie en fonction de la

(15) Projet PREQUALIF-IZNOGOU 2011-2013 (Impacts des Zapa : NOUvelle Génération d'OUtils de Diagnostic et d'évaluation des Bénéfices sanitaire et économique Attribuables aux Restrictions de Circulation) financé dans le cadre du programme PRIMEQUAL soutenu par l'ADEME et le MEEM. Rapport à paraître prochainement sur le site du programme : <http://www.primequal.fr>

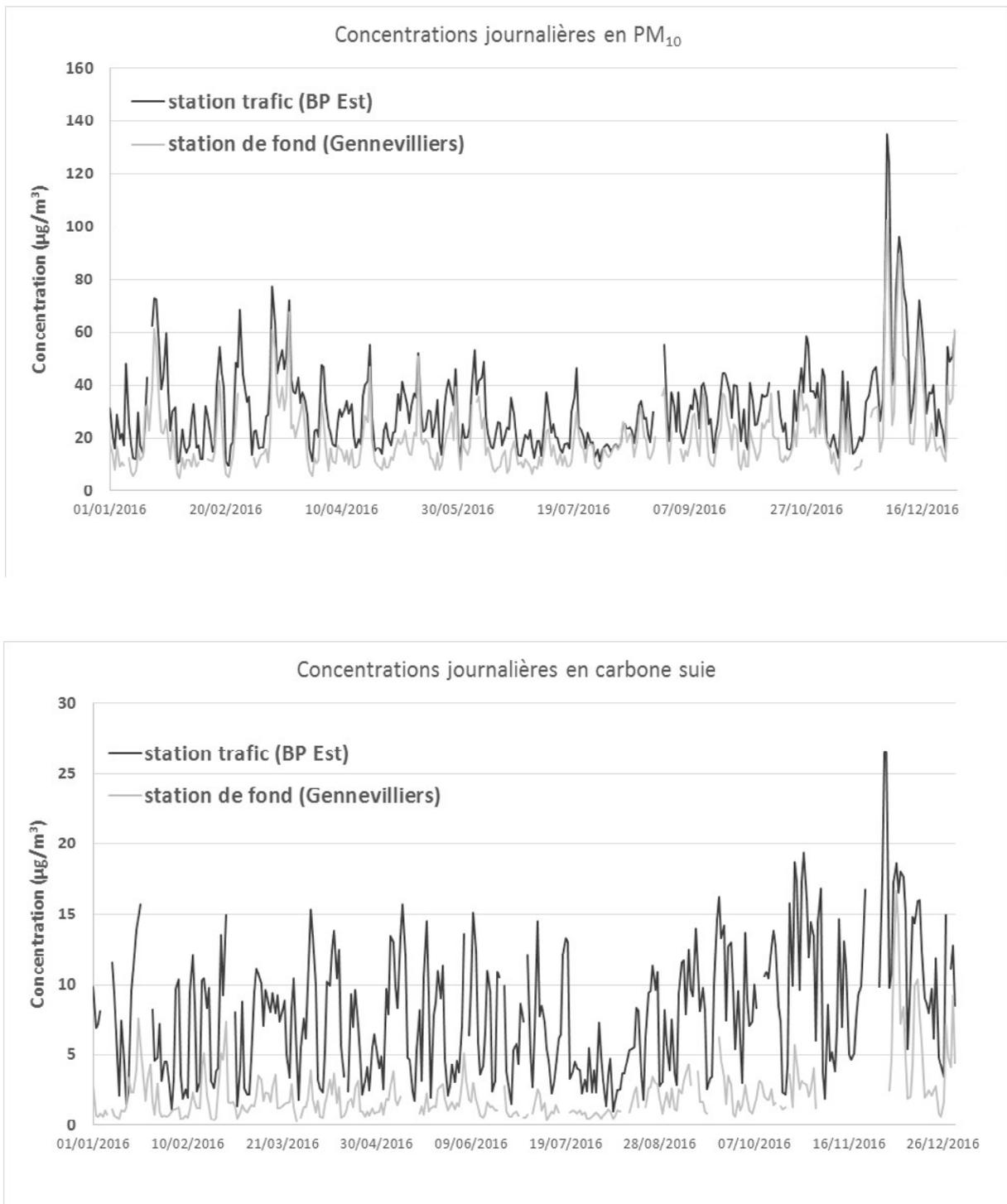


Figure 5. Concentrations de particules PM₁₀ (en haut) et de carbone suie (en bas) observées sur un site situé en proximité du trafic routier (boulevard périphérique (BP Est) en gris foncé) et sur un site de fond urbain (Gennevilliers en gris clair) en 2016.

Concentrations of PM₁₀ particles (top) and black carbon (bottom) on a site located in the vicinity of road traffic (boulevard périphérique (BP Est) in dark gray) and on an urban background site (Gennevilliers in light grey) for year 2016.

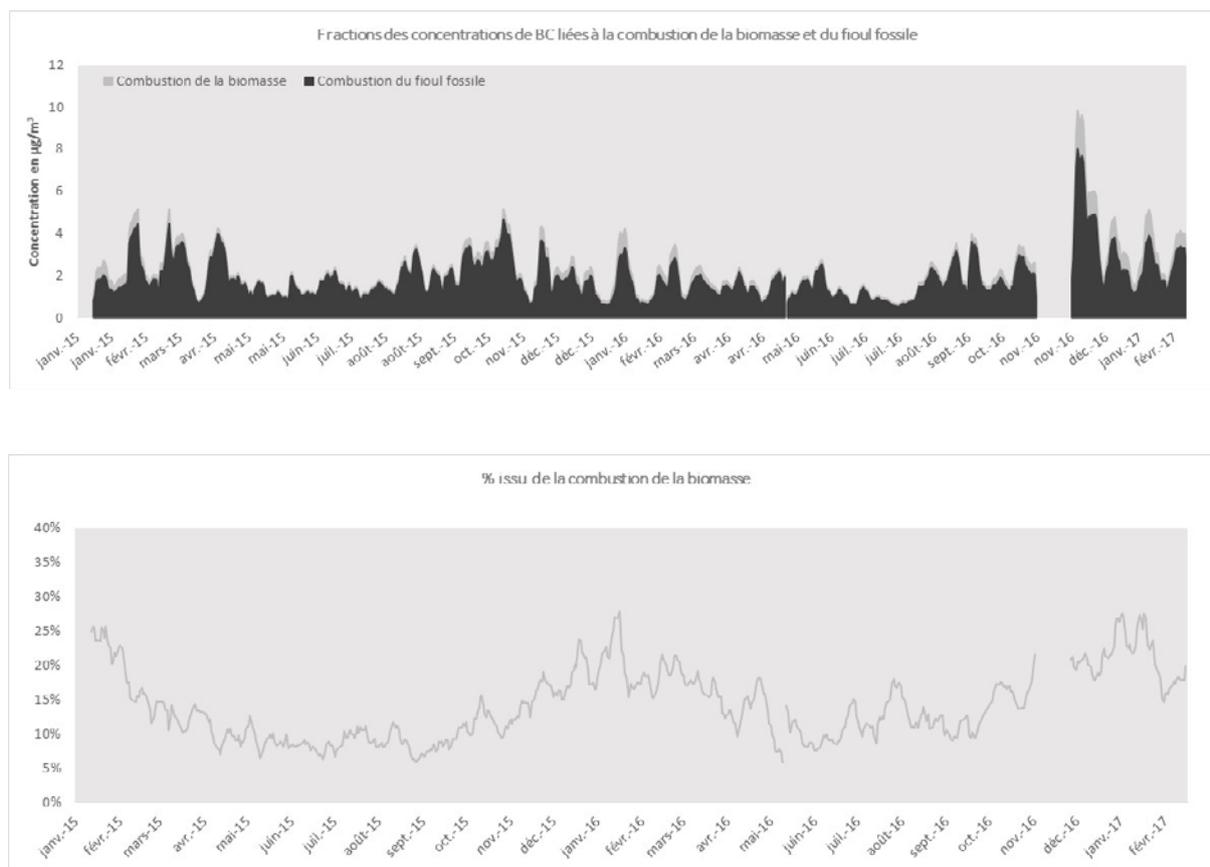


Figure 6. En haut, concentrations de carbone suie (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) observées à Gennevilliers entre janvier 2015 et février 2017, avec la fraction des concentrations liée à la combustion de la biomasse (gris clair) et celle liée à la combustion du fioul fossile (gris foncé). En bas, part relative (en %) des concentrations de carbone suie liée à la combustion de la biomasse.

Top, black carbon (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) concentrations in Gennevilliers between January 2015 and February, 2017, with the fraction of the concentrations associated with biomass combustion (light grey) and to fossil fuel combustion (dark grey). Bottom, proportion (in%) of the concentrations of black carbon linked to biomass burning.

longueur d'onde : plus la longueur d'onde du faisceau lumineux est courte, plus l'absorption augmente pour certains composés chimiques associés au carbone suie. C'est le cas pour le carbone suie issu de la combustion de la biomasse, qui génère davantage de composés organiques que la combustion des dérivés pétroliers (Sandradewi *et al.*, 2008).

Ces appareils de mesure du carbone suie permettent ainsi, au-delà de la mesure des concentrations de carbone suie, de faire la distinction entre le carbone suie issu de la combustion de la biomasse (chauffage au bois notamment) et celui issu de la combustion des dérivés pétroliers (trafic routier en particulier), mettant ainsi en évidence l'évolution potentielle de l'une des sources par rapport à l'autre. Il s'agit d'une simplification, le fuel étant utilisé pour le chauffage résidentiel et le gazole

commercialisé en France contenant 7 % d'agrocarburants. Cependant, selon l'inventaire 2012 des émissions en Ile-de-France (Airparif, mai 2016), près de 85 % des émissions annuelles de carbone suie du secteur résidentiel-tertiaire proviennent du chauffage au bois. Par conséquent, on identifie en première approche chauffage résidentiel et combustion de biomasse ; trafic routier et combustion des dérivés pétroliers.

La figure 6 illustre l'évolution des concentrations de carbone suie sur le site de fond de Gennevilliers, entre janvier 2015 et février 2017, en séparant le carbone suie issu de la combustion de la biomasse de celui issu de la combustion du fioul fossile.

Ces figures illustrent bien la variabilité de la part du carbone suie issu de la combustion de la bio-

masse dans les concentrations de carbone suie au fil du temps, en lien avec l'évolution des saisons : la saison hivernale est ainsi associée à une part de carbone suie issu de la combustion de la biomasse de l'ordre de 20 %, contre 10 % en été. Ainsi, cet indicateur peut permettre de suivre, de façon plus fine que les concentrations de particules, l'impact de mesures de réduction des émissions liées au chauffage au bois.

4. Conclusions

Dans le cadre d'études prospectives, l'évaluation *a priori* de l'impact sur la qualité de l'air de mesures de réduction des émissions polluantes nécessite de disposer d'hypothèses réalistes sur tous les paramètres de la modélisation, le *statu quo* ou le choix d'hypothèses non spécifiques du territoire concerné pouvant entraîner des incohérences sur des projections lointaines.

Un important travail de recueil de données est nécessaire avec de nombreux échanges avec les organismes partenaires et les acteurs locaux. Des connaissances et des données d'entrée peuvent en effet être apportées par ces acteurs : éléments

prospectifs liés à des programmes locaux et/ou des politiques locales en faveur des véhicules moins polluants ; programme de renouvellement des bus ; promotion des véhicules hybrides, électriques, etc. (administrations territoriales, STIF, APUR¹⁶, etc.).

Ceci concerne en priorité les secteurs à enjeu, c'est-à-dire contribuant de façon principale aux émissions de polluants réglementés et faisant l'objet de mesures de réduction des émissions. En Ile-de-France, il s'agit des secteurs du trafic routier et du résidentiel-tertiaire. Sur le premier secteur, un travail fin de raffinement des parcs roulant et technologique locaux par rapport aux éléments nationaux est indispensable. Sur le second secteur, Airparif travaille étroitement avec la DRIEA¹⁷ et la DRIHL¹⁸ pour estimer les gains attendus sur les consommations énergétiques suite à la rénovation ou à la construction de nouveaux logements.

Bénéficier des données d'entrée les plus fines possible et caractérisant le mieux un territoire donné est particulièrement crucial pour alimenter les études d'évaluations sanitaires. Ceci d'autant plus que les impacts sur la qualité de l'air des mesures que l'on cherche à évaluer sont ténus.

Références bibliographiques

ADEME, 2009 : Évaluation prospective 2020-2050 de la contribution du secteur biomasse énergie aux émissions nationales de polluants atmosphériques, 325 p.

ADEME/ BVA, 2015 : Le chauffage domestique au bois en région Ile-de-France, 161 p.

Airparif, 2016 : Étude prospective dans le cadre de la création d'une zone à circulation restreinte à Paris. Évaluation sur les émissions liées au trafic routier, 33 p.

Airparif, 2016 : Inventaire régional des émissions en Ile-de-France, année de référence 2012. Éléments synthétiques, 32 p.

Airparif, 2013 : Évolution de la qualité de l'air à Paris, entre 2002 et 2012, 89 p.

CEREN, 2008 : Bilan national du bois de chauffage en 2006, 125 p.

CITEPA, 2017 : Parc statique et roulant pour COPERT (inventaire national), édition de décembre 2016.

Sandradewi *et al.*, 2008: Using Aerosol Light Absorption Measurements for the Quantitative Determination of Wood Burning and Traffic Emission Contributions to Particulate Matter, *Environmental Science & Technology*, 42 (9), 3316-3323, DOI: <https://doi.org/10.1021/es702253m>

(16) Atelier Parisien d'Urbanisme.

(17) Direction Régionale et Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement.

(18) Direction Régionale et Interdépartementale de l'Habitat et du Logement.