

Alerte du 30 septembre 1997 et première mise en place de la circulation alternée : première évaluation faite à l'aide de l'outil de modélisation SIMPAR

F. MIETLICKI, D. GOMBERT (AIRPARIF)

Résumé

L'agglomération parisienne a connu à la fin du mois de septembre 1997 un épisode majeur de pollution atmosphérique qui a conduit pour la première fois en France à la mise en application de la mesure de circulation alternée le 1^{er} octobre 1997 à Paris et dans 21 communes limitrophes. Des premières simulations ont pu être conduites par AIRPARIF sur la base d'un inventaire d'émissions détaillé afin d'une part d'expliquer les causes de cet épisode, d'autre part de quantifier les contributions respectives de la mesure de circulation alternée et du rôle joué par l'amélioration des conditions météorologiques dans la baisse des niveaux de pollution enregistrée le 1^{er} octobre 1997. Ces simulations ont été réalisées avec le Système Informatique de Modélisation de la Pollution Atmosphérique Régionale (SIMPAR), développé par la société ARIA Technologies pour les besoins d'AIRPARIF.

Introduction

L'agglomération parisienne a connu à la fin du mois de septembre 1997 un épisode majeur de pollution atmosphérique qui a conduit pour la première fois en France à la mise en application de la mesure de circulation alternée le 1^{er} octobre 1997 à Paris et dans 21 communes limitrophes. Ce document présente les premiers résultats d'évaluation de l'efficacité de la mesure de la circulation alternée qui ont pu être obtenus grâce à l'utilisation d'un outil de simulation de la pollution atmosphérique appelé SIMPAR.

Description de l'épisode de pollution et de la mise en place de la mesure de circulation alternée

Il faisait grand beau sur l'Ile-de-France en cette fin septembre, marquée par un soleil omniprésent, des températures très clémentes, voire franchement chaudes l'après-midi, et des brises légères au point que l'on pouvait douter d'être en automne. Seule ombre au tableau, au fil des beaux jours, la pollution

de l'air s'accumulait peu à peu. Que s'est-il passé, pour que brutalement l'alerte soit déclenchée sur l'agglomération parisienne, par les taux de dioxyde d'azote (NO_2), un polluant dont l'origine est pour une grande part liée au trafic automobile ? Quelles premières conclusions peut-on tirer de l'expérience de circulation alternée ? A-t-elle permis de diminuer les taux de polluants ?

Les conditions météorologiques anticycloniques étaient bien établies (pression atmosphérique de l'ordre de 1 020 hPa) et les forts contrastes de températures entre le jour et la nuit de la fin du mois de septembre sont à l'origine du phénomène dit d'inversion de température.

Suite à ce phénomène de refroidissement des couches d'air en contact direct avec le sol, l'agglomération parisienne se retrouve le matin puis à nouveau le soir recouverte d'une chape d'air chaud bloquant ainsi dans les premiers mètres de l'atmosphère les polluants qui sont émis, notamment par le trafic automobile.

Jusqu'au 28 septembre, les niveaux maximaux atteints pendant une heure dans l'agglomération parisienne restent néanmoins inférieurs au seuil de

niveau 1 (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de la procédure d'information et d'alerte du public en vigueur à cette époque*, essentiellement grâce à un léger vent (vitesse de l'ordre de 8-12 km/h) qui permet de disperser les polluants. En revanche, à partir du 28-09-97 et jusqu'au 1^{er} octobre, le vent faiblit notablement (vitesse de l'ordre de 5 km/h), amenant ainsi le déclenchement d'un niveau 1 pour le dioxyde d'azote le 29 septembre en fin de matinée et celui du niveau 3 le lendemain (400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le vent très faible (< 5 km/h de secteur nord-ouest) et la forte inversion de température (7,5 °C sur 300 mètres à la tour Eiffel à 7 h 15 TU) le matin du 30 septembre n'ont pas permis la dispersion des polluants émis par l'agglomération. Une hausse rapide et très importante des niveaux de dioxyde d'azote est alors enregistrée dans l'agglomération, amenant le déclenchement du niveau d'alerte à 12 h 00, le niveau 1 ayant été atteint à 9 h 45. L'ampleur du phénomène est variable selon les secteurs géographiques. Le secteur sud-est, situé sous le vent faible du reste de l'agglomération, a subi un net surcroît de pollution par transfert ; ce phénomène a pu être aggravé par les émissions locales provenant des grosses sources industrielles de ce secteur. Il a ainsi marqué des valeurs maximales supérieures à 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire glissante (Ivry-sur-Seine : 442,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Paris 12^e : 414 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Vitry-sur-Seine : 408,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Créteil : 402,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), tandis que le reste de l'agglomération présentait des maximums allant de 120 à 310 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'affaiblissement de l'inversion thermique au cours de l'après-midi a naturellement conduit à l'ouverture partielle du couvercle au-dessus de l'agglomération et en conséquence à la diminution des niveaux de pollution. Mais toutes les données météorologiques disponibles indiquaient l'imminence d'une nouvelle fermeture du couvercle dans la soirée et le lendemain matin. Aucun risque pour les heures à venir ne pouvait être écarté.

La prévision par Météo-France d'une persistance de conditions météorologiques défavorables à la dispersion des polluants pour la fin de la journée et le lendemain matin (vent très faible de l'ordre de 5-8 km/h, inversion de température importante de l'ordre de 5 °C à 0 h TU), et la remontée des niveaux de pollution en fin d'après-midi expliquent que le préfet de police a décidé d'instaurer la circulation alternée dès le lendemain matin, conformément à la loi sur l'air du 30-12-96.

Le lendemain, 1^{er} octobre, seuls les véhicules avec une immatriculation impaire sont autorisés à circuler à partir de 5 h 30, les autres véhicules devant rester en stationnement, gratuit à Paris pour les résidents à cette occasion. D'après la Direction régionale de l'équipement, le trafic sur l'ensemble de la région est inférieur de 10 % au trafic d'un mercredi

habituel en moyenne totale journalière, avec des disparités entre la zone réglementée (15 % de diminution) et celle qui ne l'était pas (7 à 10 % de diminution). Au total, c'est près de 490 000 véhicules qui ne se sont pas présentés ce jour-là en entrée et en sortie de la zone réglementée.

La journée s'est caractérisée par des niveaux de pollution beaucoup plus faibles. On peut notamment faire les constatations suivantes :

- les niveaux nocturnes de NO_2 , consécutifs à la journée d'alerte 3 sont exceptionnellement élevés entre 0 h et 6 h (autour de 100–120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), preuve que les conditions de dispersion sont toujours très mauvaises ;
- la hausse des niveaux que l'on enregistre habituellement le matin, suite à la conjonction de la hausse des émissions automobiles à l'heure de pointe de circulation et à la stabilité de l'atmosphère, est beaucoup plus faible que la veille (autour de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- l'après-midi, les niveaux de NO_2 ont considérablement chuté par rapport à la veille (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ;

Les effets conjugués d'une légère amélioration des conditions météorologiques (vent encore faible dans la matinée, inversion thermique un peu moins prononcée) et de la diminution des émissions automobiles suite à une baisse du trafic dans l'agglomération se sont traduits par une baisse de moitié des niveaux de pollution, évitant le déclenchement d'un niveau 1 de la procédure.

En raison de l'amélioration nette de la qualité de l'air et des prévisions météorologiques plus favorables à la dispersion des polluants, le préfet de police a décidé d'arrêter l'application de la mesure de circulation alternée le mercredi 1^{er} octobre 1997 à minuit.

L'épisode de pollution du 30 septembre-1^{er} octobre 1997 a suscité de nombreuses questions, tant chez le grand public que chez les autorités responsables de la prise de la mesure de circulation alternée. Parmi les principales interrogations, on peut citer les points suivants :

1. Quelles furent les contributions respectives des différents types de sources d'émissions dans l'épisode de pollution du 30 septembre 1997 ?
2. Pour quelles raisons, les secteurs sud-est puis est de l'agglomération connurent-ils les plus forts niveaux de pollution ?
3. Si la mesure de circulation alternée n'avait pas été prise le 1^{er} octobre, quels niveaux auraient été enregistrés ?
4. Si les conditions météorologiques du 30 septembre s'étaient maintenues le 1^{er} octobre, quels niveaux de pollution auraient été atteints le 1^{er} ?
5. D'une manière plus générale, peut-on déterminer et quantifier les contributions respectives de la prise de la mesure de circulation alternée et de la modification des conditions météorologiques dans l'amélioration de la qualité de l'air qui a été enregistrée le 1^{er} octobre ?

* Arrêté interpréfectoral 9410504 du 25 avril 1994.

Seul le recours à un système de modélisation de la pollution atmosphérique peut permettre d'apporter des éléments de réponse à ces questions, d'une part en reconstituant l'épisode tel qu'il s'est déroulé pour mieux comprendre les causes d'occurrence du phénomène et sa dynamique (réponses aux questions de type 1, 2) et d'autre part en simulant un certain nombre de scénarios portant sur des modifications des conditions d'émissions ou des conditions météorologiques (réponses aux questions de type 3, 4 et 5). C'est ce travail de simulation et de compréhension qu'AIRPARIF a entrepris d'effectuer avec son système de modélisation de la pollution atmosphérique nommé SIMPAR. La suite de ce document présente les premiers résultats obtenus.

Reconstitution de l'épisode avec l'outil de simulation SIMPAR

Présentation succincte du système de modélisation SIMPAR

Le système de modélisation SIMPAR est un outil dont la vocation est de permettre la réalisation d'études prospectives à l'échelle de la région Ile-de-France, notamment l'évaluation des effets des mesures de réduction des émissions atmosphériques sur la pollution de l'air pour les polluants primaires (CO, NO_x, SO₂...) ou secondaires (O₃).

SIMPAR repose sur l'utilisation des logiciels suivants :

- un gestionnaire d'applications : ADSO V8 ;
- une chaîne de traitement des émissions contenant différents sous-programmes comme EMITRA ;
- un module de calcul météo (MINERVE, MERCURE à terme) ;
- un code de transport non réactif (HERMES) ;
- un code photochimique (transport réactif) (AIRQUAL ou UAM-V) ;
- un logiciel graphique SAVI3D.

Reconstitution des champs 3D météorologiques

La simulation météorologique de l'épisode du 30 septembre-1^{er} octobre 1997 a été réalisée avec le module MINERVE développé conjointement par la Direction Études et Recherche d'EDF et ARIA Technologies. Il s'agit d'un code d'analyse objective des champs de vent et de température à moyenne échelle qui s'appuie sur les données de mesures (observation météorologique) et sur des sorties de modèle météorologique de grande échelle (comme le modèle ARPEGE de Météo-France) pour produire une séquence météorologique cohérente qui se rapproche des mesures disponibles. Ce processus d'assimilation s'appuie sur des techniques d'interpolation 3D et sur la résolution de l'équation de conservation de la masse (1^{ère} équation de Navier-Stokes). L'avantage principal du code est sa souplesse et sa rapidité d'exécution. Un module de

paramétrisation de la hauteur de la couche de mélange et de son évolution au cours du temps (Metpro, EPA) a été ajouté au sein de MINERVE.

Un exemple de simulation du champ de vent à 50 mètres d'altitude est présenté ci-après (voir Figure 1, p. 72) pour différentes échéances horaires (6 h 00, 10 h 00 et 14 h 00 TU) les 30 septembre et 1^{er} octobre 1997. On constate que le module du vent est très faible (< 2 m/s) toute la matinée du 30 septembre, qu'il reste faible le 30 après-midi et le 1^{er} au matin, puis qu'il augmente en cours de matinée du 1^{er} pour dépasser les 3 m/s sur quasiment l'ensemble du domaine d'étude le 1^{er} dans l'après-midi, améliorant ainsi la dispersion horizontale des polluants émis. Le secteur de vent (nord-ouest) reste quant à lui inchangé sur les deux journées.

Le graphe suivant (Figure 2, p. 73) présente l'évolution horaire de la hauteur de la couche de mélange pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997, obtenue avec le module MINERVE, conformément aux informations météorologiques obtenues sur les stations d'observation de la tour Eiffel. On constate que la nuit, la hauteur de mélange est très faible (~ 75 m), et ce, pour les deux journées considérées. Le jour, le déploiement de la couche de mélange se fait progressivement à partir de 7 h 00 TU, les niveaux maximaux étant atteints vers 16 h 00 TU pour les deux journées. Durant la journée du 1^{er} octobre 1997, la hauteur de la couche de mélange atteint les 600 m contre à peine 300 pour la journée du 30 septembre, favorisant ainsi davantage la dispersion verticale des polluants émis.

La reconstitution, à l'aide du module MINERVE, des champs météorologiques pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997 montre bien que les conditions dispersives de l'atmosphère se sont substantiellement améliorées le 1^{er} octobre 1997 par rapport au 30 septembre 1997 (hauteur de mélange plus importante, un peu plus de vent) même si elles restent encore médiocres.

Modélisation des émissions

Une première évaluation de l'évolution des émissions au cours des journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997 a été réalisée par AIRPARIF en utilisant les informations disponibles au sein de la base de données émissions du système de modélisation SIMPAR et à partir de différents éléments d'évaluation des conséquences en terme de trafic de la mise en place de la circulation alternée émanant de la Direction de la voirie de Paris, de la Direction régionale de l'équipement d'Ile-de-France et plus particulièrement de son Service interdépartemental d'exploitation routière. Cette évaluation a été réalisée sur le domaine de modélisation retenu, à savoir un domaine de 50 × 50 km² centré sur Paris et maillé avec un pas de 1 km.

Pour ce qui est de l'estimation des émissions horaires des grandes sources ponctuelles au cours des deux journées, nous avons utilisé les données

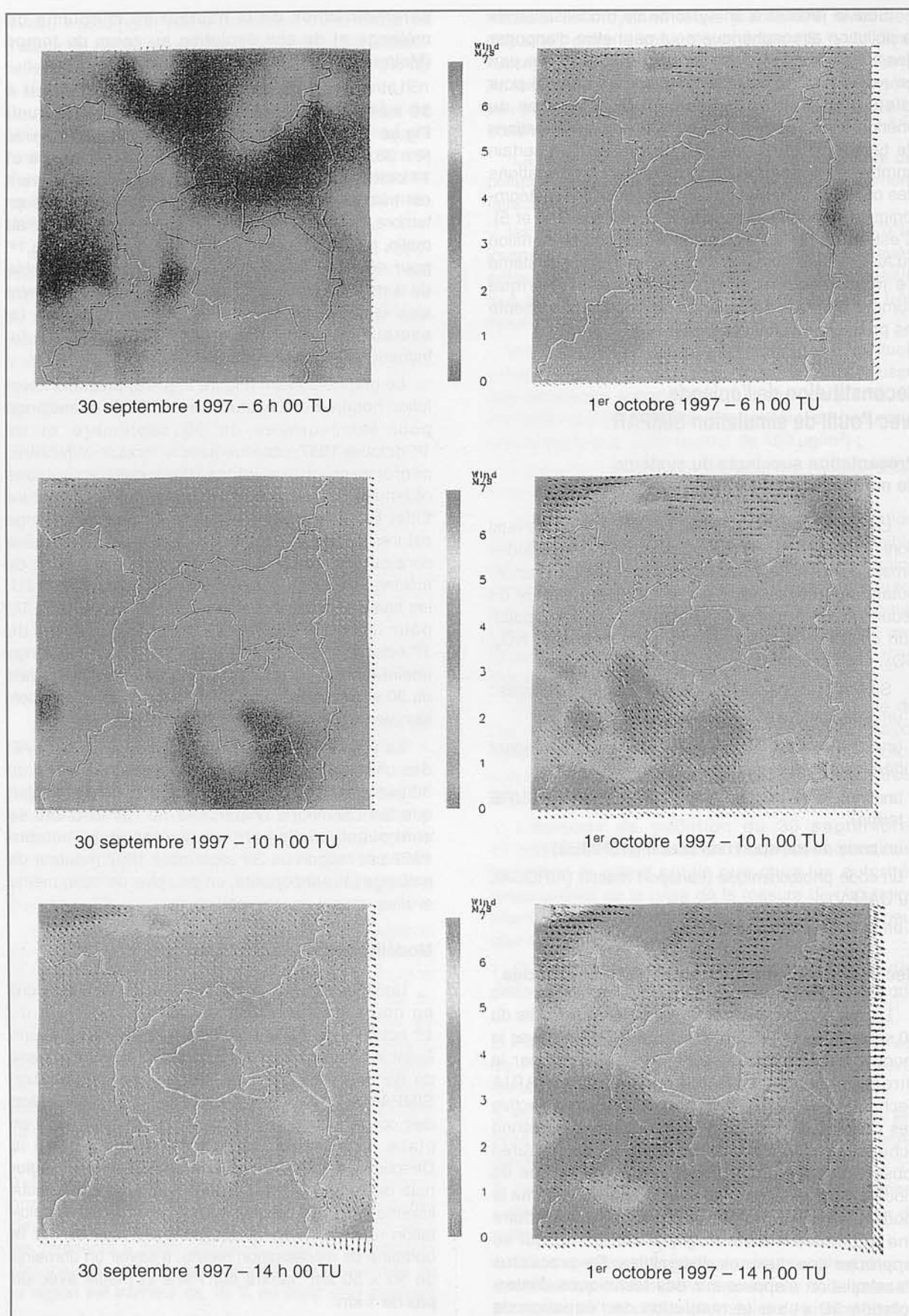


Figure 1.
Reconstitution du champ de vent à différentes échéances horaires (6 h 00, 10 h 00 et 14 h 00 TU)
les 30 septembre et 1^{er} octobre 1997.

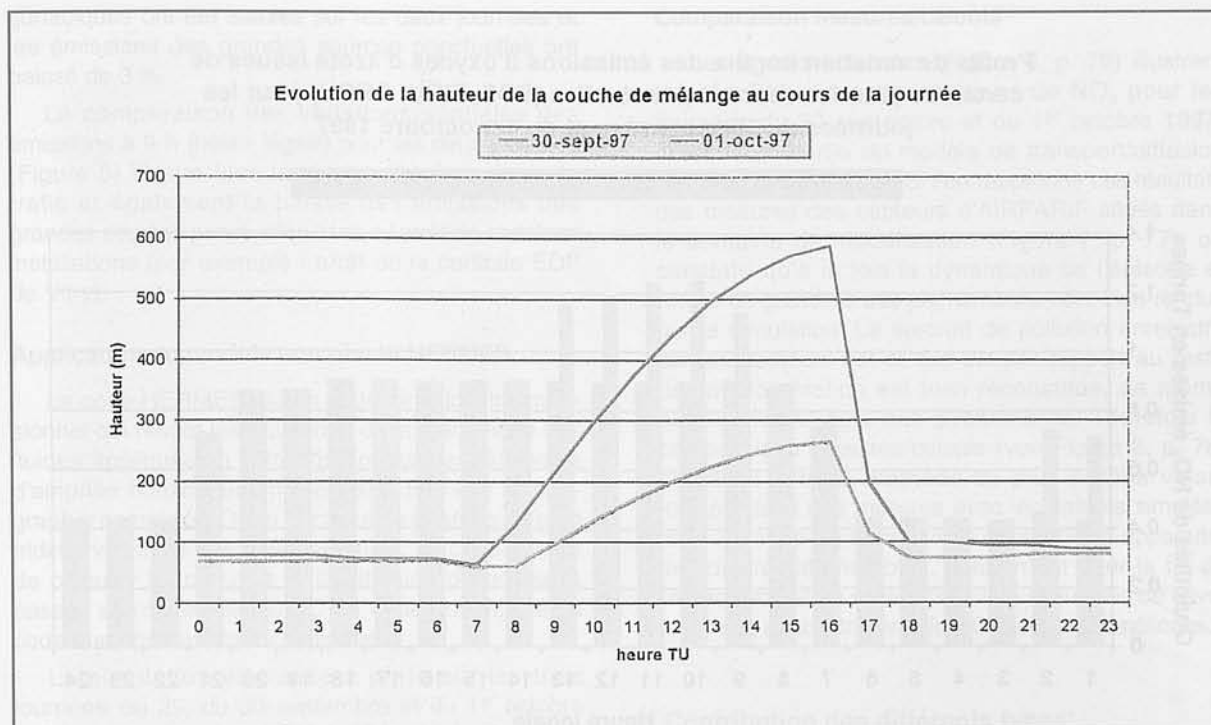


Figure 2.

Évolution horaire de la hauteur de la couche de mélange pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997.

d'autosurveillance provenant directement des industriels, lorsque celles-ci étaient disponibles, et, le cas échéant, les données d'émissions annuelles de déclaration de taxe parafiscale que nous avons ramenées à la période d'intérêt par application de profils de modulation temporelle, fonctions du type d'activité. Le graphique (Figure 3, p. 74) présente les émissions horaires au cours des deux journées des principaux émetteurs ponctuels (EDF, TIRU, CPCU) situés dans le domaine de modélisation.

Les émissions surfaciques (émissions domestiques, biogéniques...) ont été calculées à partir des données annuelles provenant de l'inventaire 1994 CITEPA que nous avons, de manière analogue au travail effectué sur les GSP, ramenées à la période d'intérêt par application de profils de modulation temporelle, fonctions du type d'activité et qui ont été projetées sur le maillage utilisé.

Enfin, l'estimation des variations spatio-temporelles des émissions dues au trafic pour la journée du mardi 30 septembre a été réalisée à partir de trois éléments :

- la matrice de trafic (comportant plus de 34 000 brins) fournie par la DREIF pour un jour dit « standard » et donnant pour chacun des brins, le volume de trafic et la vitesse moyenne de circulation heure par heure ;
- l'utilisation des informations sur la répartition entre classes de véhicules issues du parc roulant national INRETS corrigé pour les poids lourds et les deux-roues par des estimations régionales ;
- les facteurs d'émission issus de la méthodologie européenne Copert II.

Pour estimer les émissions du 1^{er} octobre, nous avons utilisé les mêmes informations avec les modifications suivantes apportées à la matrice de trafic :

- diminution générale du trafic de l'ordre de 13 % du fait que le 1^{er} octobre est un mercredi ;
- prise en compte des impacts sur le trafic de la mise en place de la circulation alternée tels qu'ils ont pu être observés par le SIER ou la Direction de la voirie, à savoir :
 - avancement de l'heure de pointe du matin ;
 - étalement de la pointe du soir ;
 - baisses de trafic par zone : - 15 % sur la zone concernée par la mesure de circulation alternée, - 20 % sur Paris et le boulevard périphérique et - 8 % sur le reste de l'Ile-de-France.

L'ensemble de ces données et hypothèses concernant les émissions a été introduit dans la chaîne de calcul des émissions du système SIMPAR afin de produire un cadastre d'émissions au pas horaire, à la résolution du km² sur le domaine 50 × 50 km² pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997. La comparaison des variations horaires des émissions entre les deux journées (voir Figure 4, p. 74) fait apparaître que l'impact sur les émissions de la mise en place de la circulation alternée est particulièrement net aux périodes de pointe de trafic.

Les émissions globales sur le domaine considéré enregistrées pour la journée du 1^{er} octobre ont baissé de 15 % par rapport à celles du 30 septembre. Cette valeur est essentiellement liée à la baisse des émissions dues au trafic (- 22 %). Les émissions

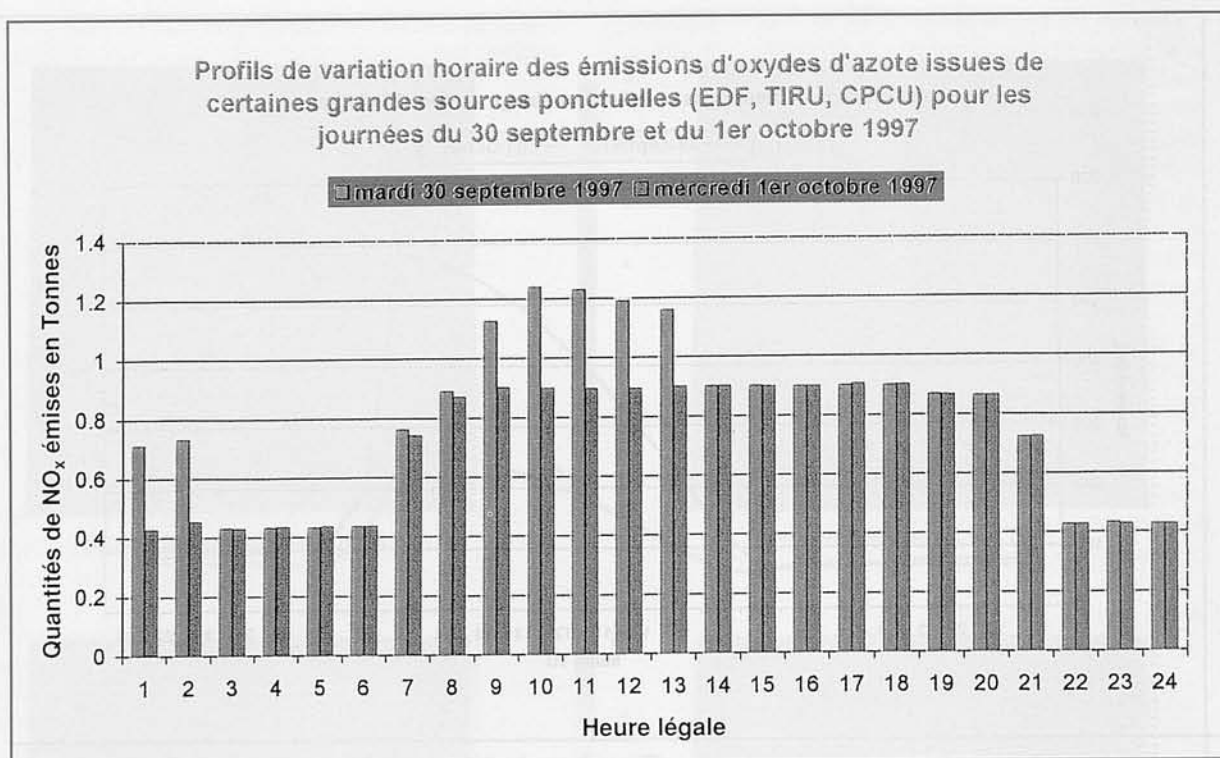


Figure 3.

Profils de variation horaire des émissions d'oxydes d'azote issues de certaines grandes sources ponctuelles (EDF, TIRU, CPCU) pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997.

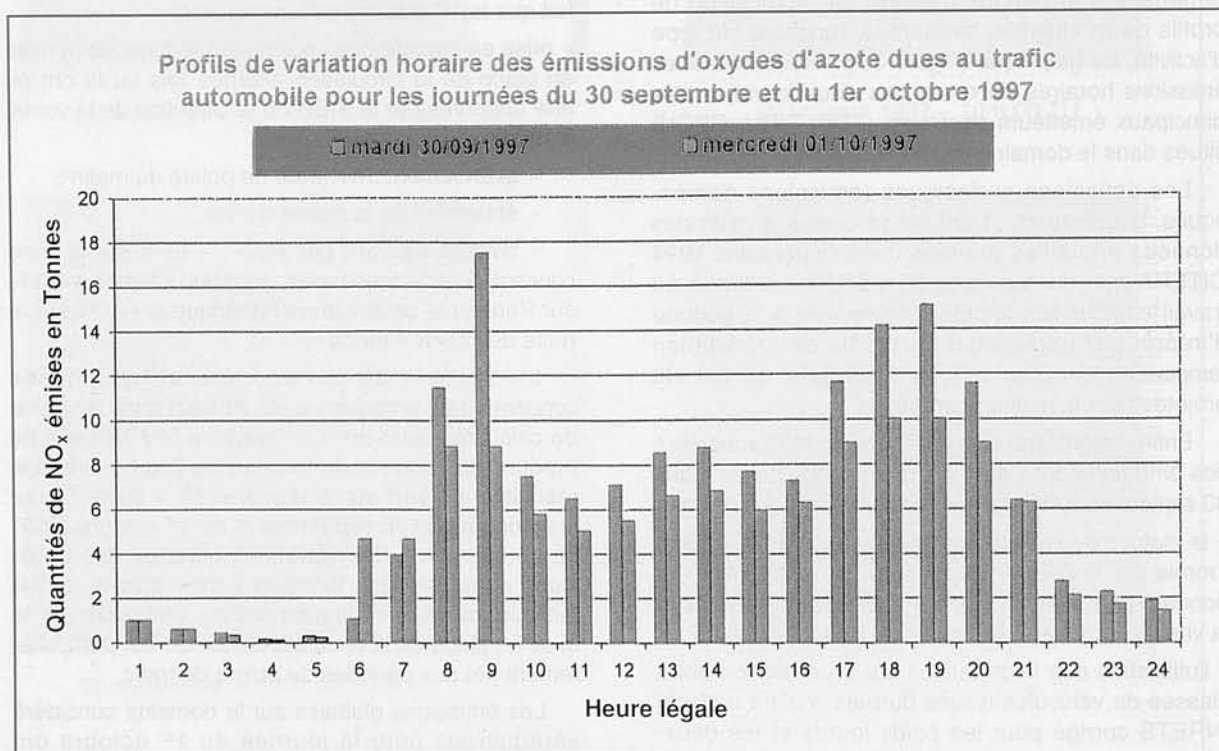


Figure 4.

Profils de variation horaire des émissions d'oxydes d'azote dues au trafic automobile pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997.

surfaciques ont été stables sur les deux journées et les émissions des grandes sources ponctuelles ont baissé de 3 %.

La comparaison des variations spatiales des émissions à 9 h (heure légale) pour les deux journées (Figure 5) illustre bien la baisse des émissions du trafic et également la baisse des émissions des grandes sources ponctuelles liées à l'arrêt de certaines installations (par exemple : arrêt de la centrale EDF de Vitry).

Application du modèle non réactif HERMES

Le code HERMES est un code de calcul tridimensionnel qui résout les équations de la mécanique des fluides appliquées à l'atmosphère sur des domaines d'emprise horizontale limitée (20 à 500 km) à topographie complexe. Outre le calcul de champs de vent tridimensionnels à échelle régionale, ce code permet de calculer le transport et la diffusion de polluants passifs en mode eulérien. C'est cette potentialité du code que nous avons ici exploitée.

La simulation effectuée a porté sur les trois journées du 29, du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997 sur un domaine de $50 \times 50 \text{ km}^2$ à la résolution de 1 km en horizontal et comportant 17 niveaux verticaux entre 0 et 1 200 mètres d'altitude. Nous nous sommes limités dans une première approche à la simulation des concentrations de NO_x , en mode non réactif. Cette approche permet en particulier de s'attacher aux contributions respectives des différentes catégories d'émetteurs dans les concentrations observées.

Comparaison mesures/calculs

Les figures suivantes (Figure 6, p. 76) illustrent les résultats de concentrations de NO_x pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997, obtenus en sortie du modèle de transport/diffusion non réactif (HERMES). Si l'on rapproche ces résultats des mesures des capteurs d'AIRPARIF situés dans le domaine de modélisation (Figure 7, p. 77), on constate qu'à la fois la dynamique de l'épisode et l'ordre de grandeur des phénomènes sont bien rendus par la simulation. Le surcroît de pollution enregistré par les secteurs est et sud-est par rapport au reste de l'agglomération est bien reconstitué, de même que la chronologie des événements. Toutefois la comparaison mesures/calculs (voir Figure 8, p. 78) effectuée avec la méthode du plus proche voisin (comparaison des mesures avec les valeurs simulées dans la maille où se trouve le capteur) fait apparaître des différences notables, notamment pour la fin de l'après-midi du 30 septembre où la simulation de l'évolution des concentrations de NO_x peut être améliorée.

Contribution des différents types de sources au phénomène de pollution

Afin de pouvoir évaluer la contribution des différents types de sources, nous avons simulé les concentrations de NO_x qui résultent des émissions de chacun des trois grands types de sources que l'on peut considérer, à savoir les sources trafic, les sources GSP (regroupant les gros émetteurs fixes et les aéroports), et les sources

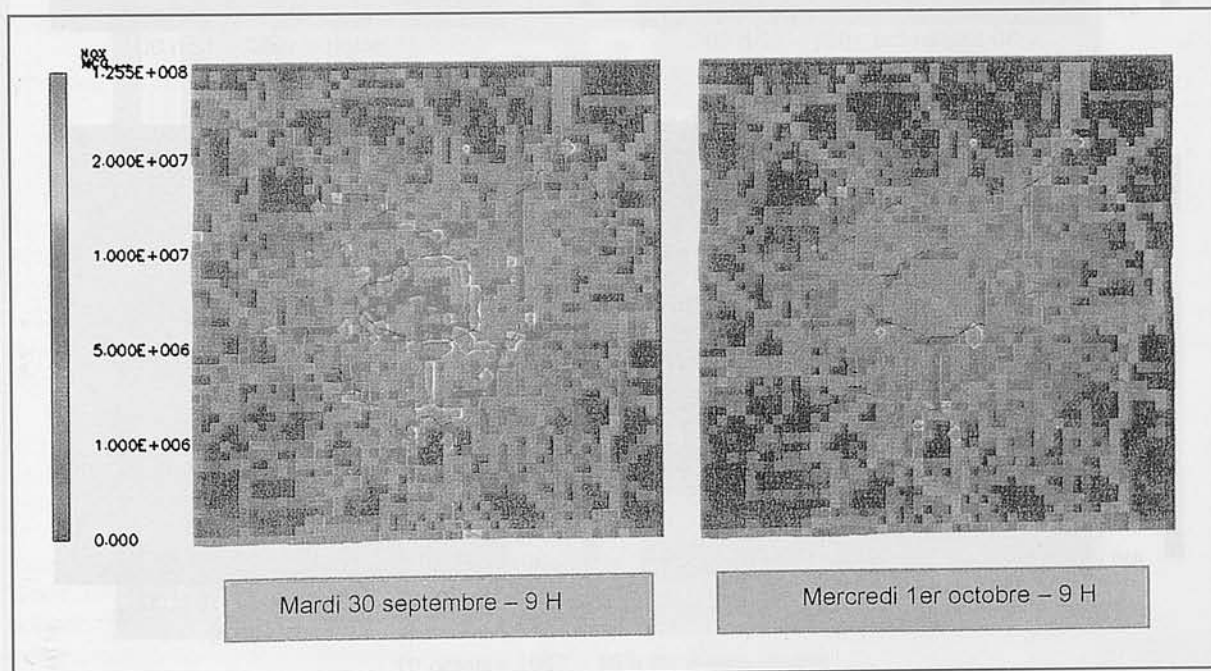


Figure 5.

Cartographies des émissions de NO_x à 9 h 00 (heure légale) pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997.

En orange : isosurface des émissions de NO_x supérieures ou égales à $1 \text{ E}+7 \text{ µg/s}$.

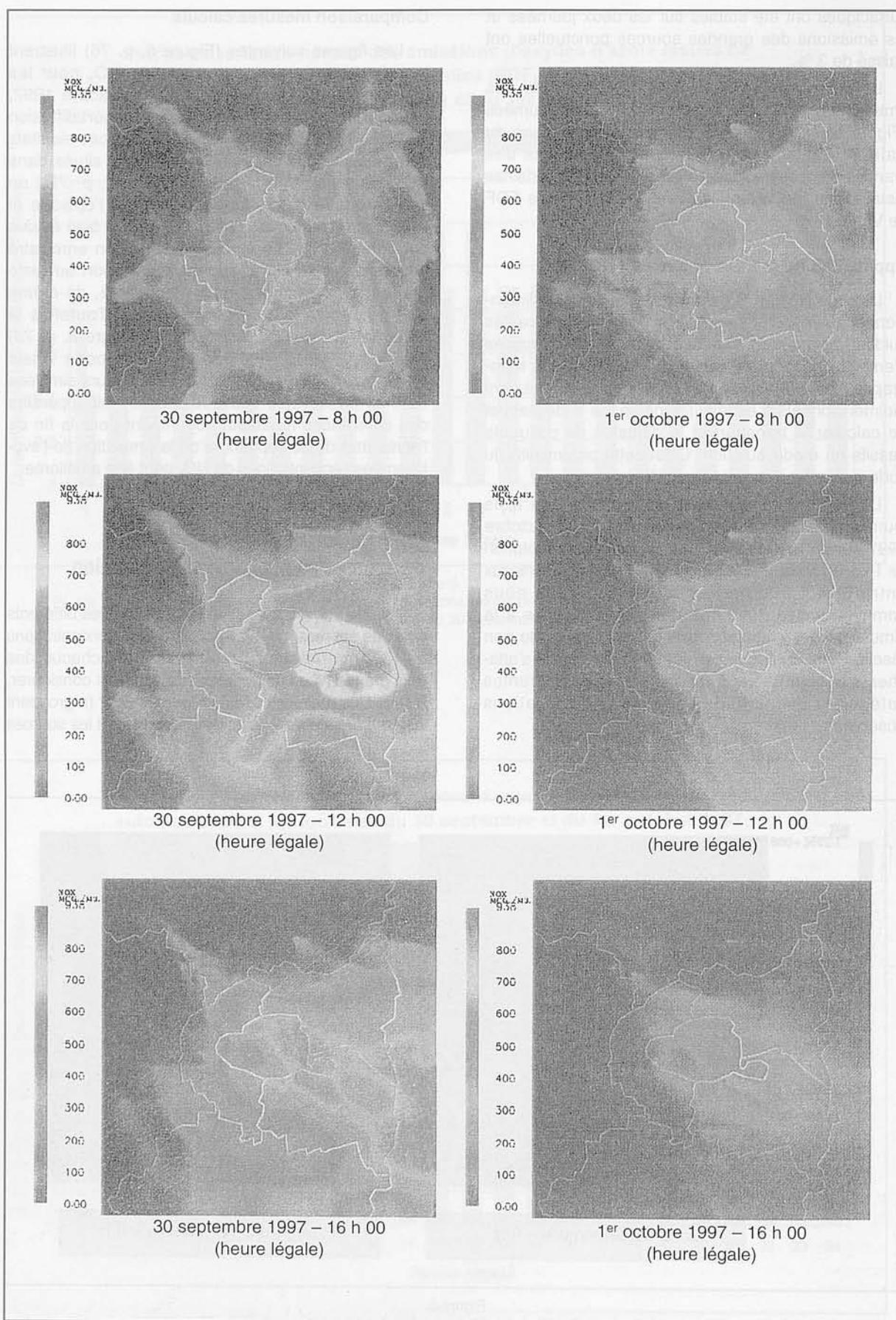
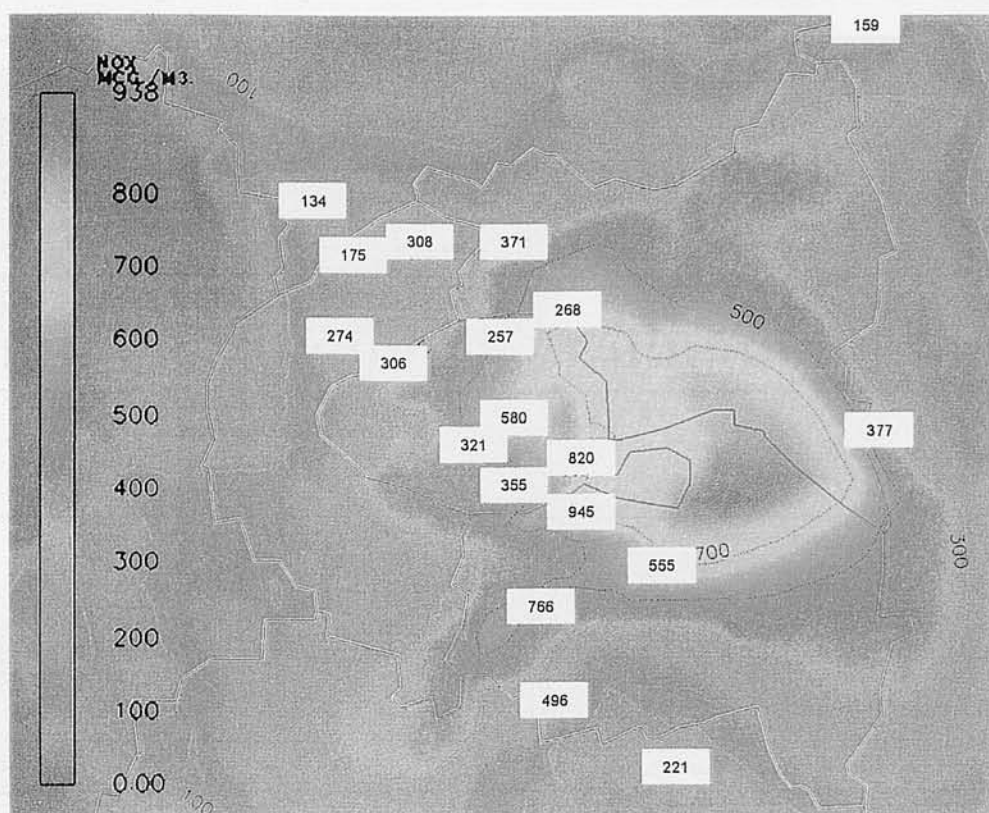
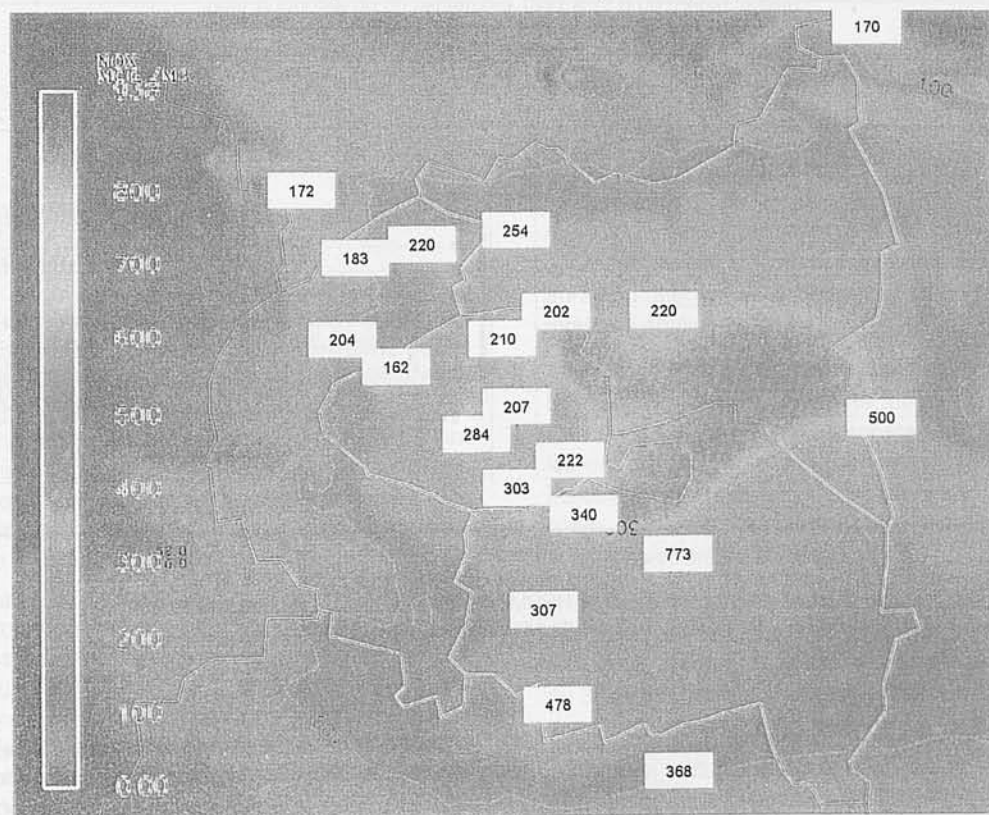


Figure 6.
Évolution des champs de concentrations de NO_x simulés pour les journées du 30 septembre et du 1^{er} octobre 1997.



30 septembre 1997 – 12 h 00 (heure légale)



1^{er} octobre 1997 – 10 h 00 (heure légale)

Figure 7.

Comparaison des champs de concentration en NO_x simulés avec les mesures quart-horaires des stations AIRPARIF pour deux échéances de l'épisode.

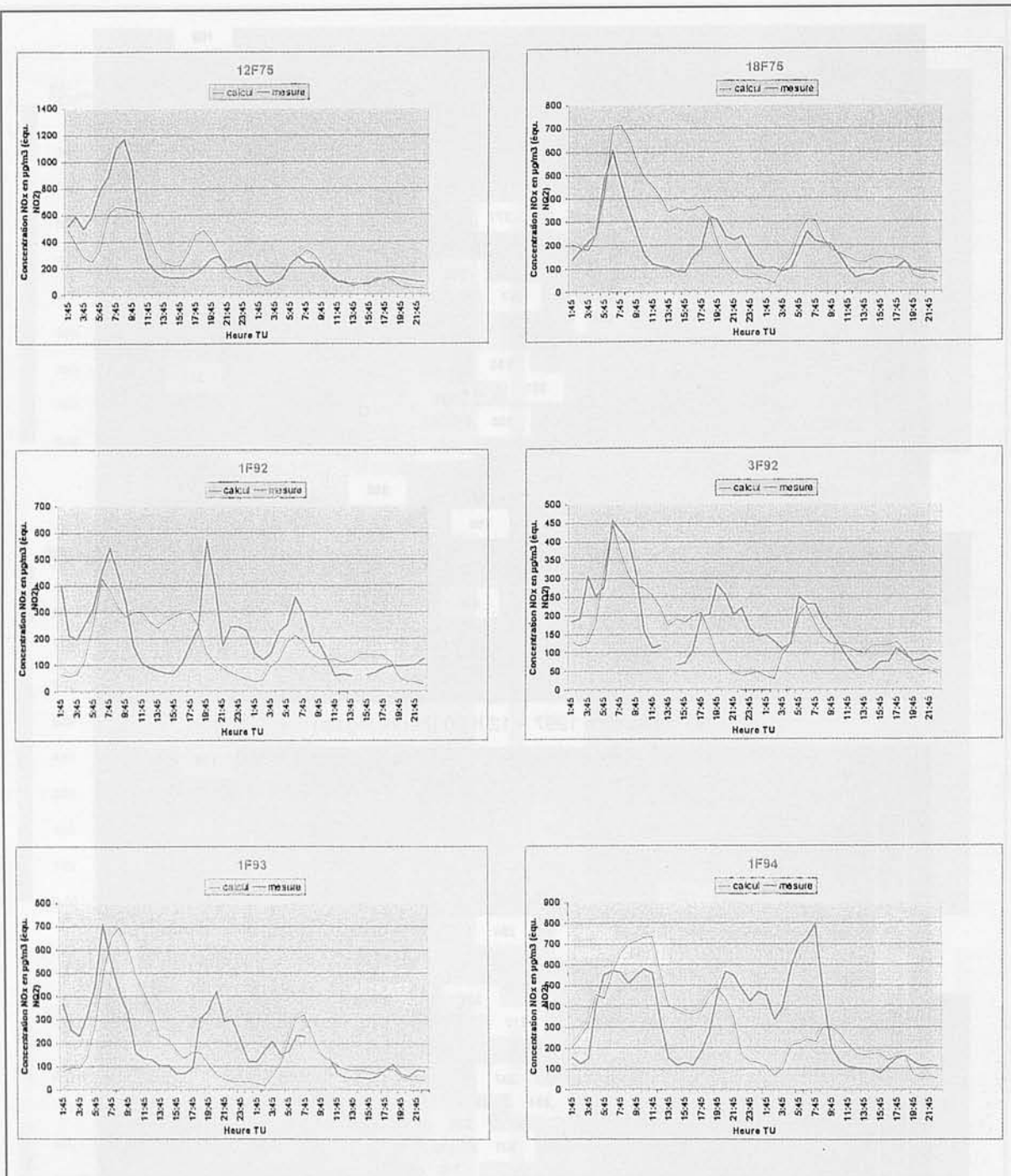


Figure 8.
Comparaisons des mesures horaires de NO_x des stations AIRPARIF
avec les valeurs simulées par HERMES (méthode du plus proche voisin).
En rouge : résultats de simulation. En bleu : mesures.

surfaciques (chauffage domestique...). La figure qui suit (Figure 9, p. 79) montre la contribution respective des sources trafic et des sources ponctuelles aux concentrations de NO_x simulées le 30 septembre 1997 à 10 h 00 TU, où les niveaux maximaux ont été enregistrés par les capteurs d'AIRPARIF.

Dans la zone où les concentrations simulées en NO_x dépassent les $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la contribution de la

source trafic s'élèverait ainsi à environ 80 % (concentrations en NO_x résultant des émissions trafic supérieures à $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la zone), la contribution des sources ponctuelles à environ 10 % (concentrations en NO_x résultant des émissions des sources ponctuelles voisines de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la zone), les sources diffuses contribuant alors pour la différence, à savoir pour 10 % environ.

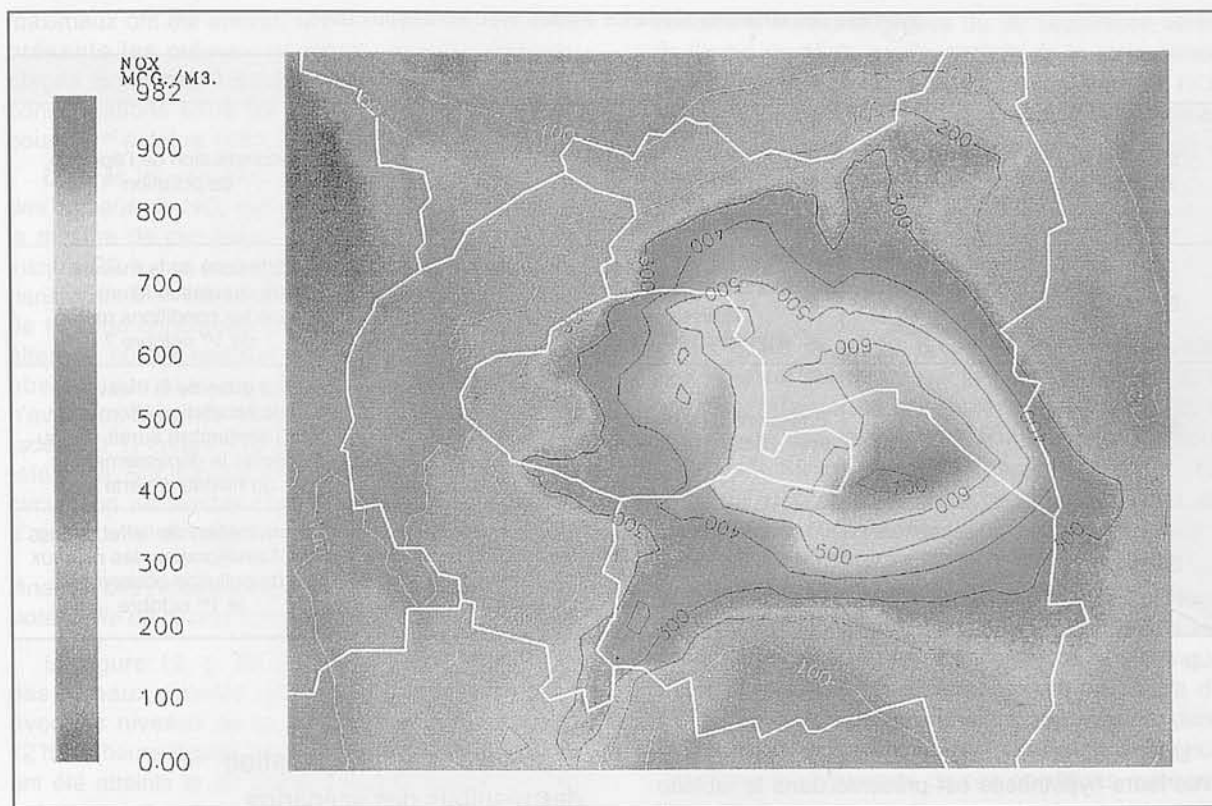


Figure 9.

Contribution des sources trafic aux concentrations totales de NO_x simulées pour la journée du 30 septembre 1997 à 12 h 00 (heure légale).

Plages colorées : concentrations totales en NO_x .

Isocontours noirs : concentrations en NO_x résultant des émissions des sources trafic.

Mise en œuvre de scénarios

Présentation des scénarios

Afin d'essayer de répondre aux nombreuses interrogations émanant des autorités ou du grand public concernant l'efficacité de la mesure de circulation alternée, nous avons élaboré différents scénarios. Ces scénarios sont au nombre de trois, les deux premiers ayant trait à des modifications des conditions d'émissions, le dernier à des modifications des conditions météorologiques. Ceux-ci peuvent être décrits de la manière suivante :

Scénario 1 : on modifie les conditions d'émissions du 1^{er} octobre par rapport à la simulation de référence, les autres paramètres (météo et émissions du 30, météo du 1^{er}) étant inchangés. Les émissions du 1^{er} octobre correspondent dans ce scénario à celles que l'on aurait pu attendre si les différentes mesures de réduction de la circulation n'avaient pas été prises, c'est-à-dire qu'on considère les émissions d'un mercredi moyen de l'année.

L'étude de ce scénario a pour objectif d'apporter des éléments de réponse à la question : si la mesure de circulation alternée n'avait pas été prise, quels niveaux auraient été atteints le 1^{er} octobre ?

Scénario 2 : on rejoue la journée du 30 septembre avec les mêmes conditions météorologiques mais avec des émissions correspondant à celles que l'on aurait pu attendre si la mesure de circulation alternée avait été appliquée ce jour-là.

L'étude de ce scénario a pour objectif d'évaluer l'efficacité qu'aurait pu avoir la mesure de circulation alternée sur la journée du 30 septembre pour laquelle les conditions dispersives rencontrées sont particulièrement mauvaises. D'une manière plus stratégique, la prise de la mesure aurait-elle permis d'éviter le dépassement du niveau d'alerte ?

Scénario 3 : on modifie les conditions météorologiques du 1^{er} octobre par rapport à la simulation de référence, les autres paramètres (météo et émissions du 30, émissions du 1^{er}) étant inchangés. On remplace dans ce scénario les conditions météorologiques du 1^{er} octobre par celles qui ont été observées le 30 septembre.

L'étude de ce scénario et sa comparaison avec la simulation de référence vise à déterminer le rôle joué par l'amélioration des conditions météorologiques dans la baisse des niveaux de pollution enregistrée le 1^{er} octobre.

Synthèse des différents scénarios étudiés avec leurs hypothèses.

		Émissions	Météo	Objectifs
Simulation référence	30 septembre	Émissions du 30	Météo du 30	Reconstitution de l'épisode de pollution
	1 ^{er} octobre	Émissions du 1 ^{er} (effet mercredi + circulation alternée)	Météo du 1 ^{er}	
Scénario 1	30 septembre	Émissions du 30	Météo du 30	Efficacité de la mesure de circulation alternée dans les conditions météo du 1 ^{er} octobre ?
	1 ^{er} octobre	Émissions d'un mercredi moyen	Météo du 1 ^{er}	
Scénario 2	30 septembre	Émissions d'un mardi moyen avec effet circulation alternée	Météo du 30	La prise de la mesure de circulation alternée le 30 septembre aurait-elle pu éviter le dépassement du niveau d'alerte ?
Scénario 3	30 septembre	Émissions du 30	Météo du 30	Détermination de l'effet météo dans l'amélioration des niveaux de pollution observée le 1 ^{er} octobre
	1 ^{er} octobre	Émissions du 1 ^{er}	Météo similaire à celle du 30	

Un récapitulatif des différentes simulations effectuées avec leurs hypothèses est présenté dans le tableau ci-dessus.

Bien évidemment, les éléments d'interprétation apportés par AIRPARIF sur la base du code de calcul HERMES non réactif ne concernent que les oxydes d'azote ($\text{NO} + \text{NO}_2$). L'évolution de l'impact de ces différents scénarios, intégrant la description de la chimie atmosphérique, sera poursuivie par la mise en œuvre des codes réactifs, permettant la description des concentrations de NO_2 observées. On rappellera que la procédure d'information et d'alerte francilienne porte en particulier sur NO_2 .

Présentation et interprétation des résultats des scénarios

Quantification de l'impact de la mesure de la circulation alternée

Analyse des résultats du scénario 1 : influence de la circulation alternée le 1^{er} octobre

La figure 10 présente une comparaison des niveaux maximaux simulés avec les hypothèses du scénario 1 avec les niveaux de la simulation de référence à 10 h 00 (heure légale), heure où les niveaux

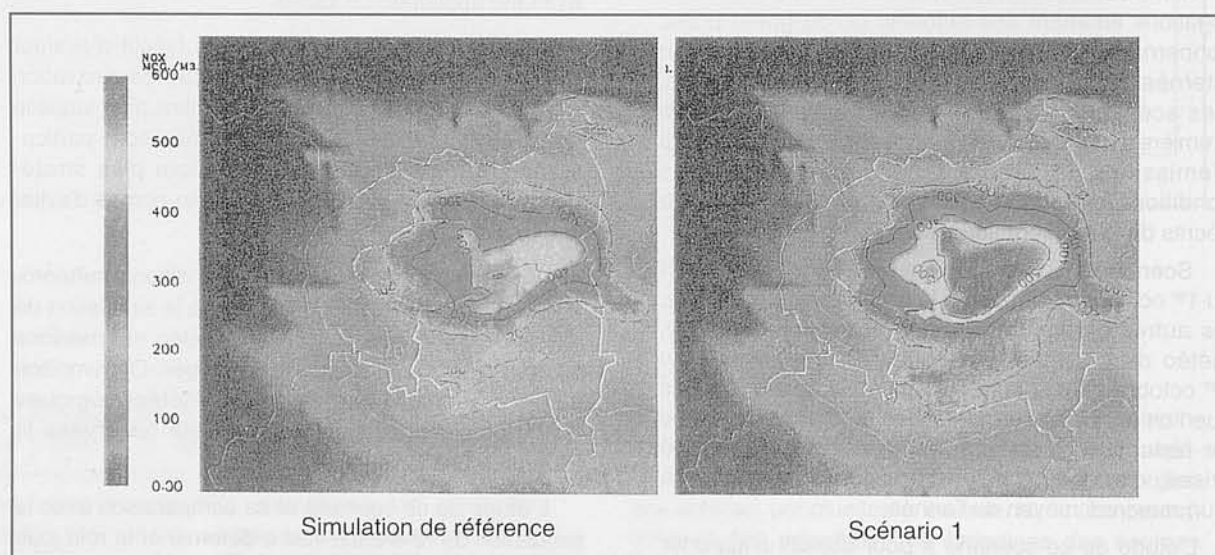


Figure 10.
Niveaux maximaux de concentrations de NO_x atteints dans le cas de la simulation de référence et dans le cas du scénario 1 pour la journée du 1^{er} octobre 1997 à 10 h 00 (heure légale).

maximaux ont été atteints le 1^{er} octobre. La figure 11 présente les mêmes résultats sous la forme de plages isocolorées représentant les différences de concentrations entre les deux simulations, toujours pour le 1^{er} octobre 1997, à 10 h 00 (heure légale).

D'après les résultats de simulation, la diminution des niveaux de NO_x qui a été induite par la prise de la mesure de circulation alternée le 1^{er} octobre irait jusqu'à 20 % sur certaines zones de l'agglomération parisienne. Il en est ainsi, par exemple, du secteur est de la zone concernée par la mesure de circulation alternée où les niveaux maximaux qui auraient pu être atteints si la mesure de circulation alternée n'avait pas été prise atteignent les $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_x (scénario 1) contre $475 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la simulation de référence. Sur aucune zone, la prise de la mesure de circulation ne semble d'autre part contre-productive d'après cette simulation.

Analyse des résultats du scénario 2 : influence potentielle de la circulation alternée le 30 septembre

La figure 12, p. 82 présente une comparaison des niveaux simulés dans le cadre du scénario 2 avec les niveaux de la simulation de référence à 12 h 00 (heure légale), heure où les niveaux maximaux ont été atteints le 30 septembre. La figure 13, p. 82 présente les mêmes résultats sous la forme de plages isocolorées représentant les différences de concentrations entre les deux simulations, toujours pour le 30 septembre 1997, à 12 h 00 (heure légale).

D'après les résultats de simulation, la diminution des niveaux de NO_x qui aurait pu être induite par la prise de la mesure de circulation alternée dans les

conditions météorologiques du 30 septembre serait de l'ordre de 15 % sur l'ensemble de la zone dense de l'agglomération parisienne. Le maximum de NO_x simulé à l'aide de l'outil de modélisation passerait ainsi de $982 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (simulation de référence) à $829 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (scénario 2).

Quantification du rôle joué par les conditions météorologiques

La figure 14, p. 83 présente une comparaison des niveaux simulés dans le cadre du scénario 3 avec les niveaux de la simulation de référence, à l'heure où les concentrations maximales sont atteintes sur le domaine. La figure 15, p. 83 présente la différence entre ces deux champs de concentration (concentrations simulation de référence – concentrations scénario 3).

D'après la simulation du scénario 3, les niveaux qui auraient été atteints le 1^{er} octobre 1997 si les conditions météo avaient été identiques à celles que l'on a connues le 30 septembre sont de l'ordre de $650 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à comparer aux $475 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atteints dans la simulation de référence, témoignant de l'influence notablement aggravante de ces conditions météorologiques. Les concentrations maximales auraient été atteintes vers 13 h 00 (heure légale) contre 10 h 00 (heure légale) dans la simulation de référence. L'amélioration des conditions dispersives de l'atmosphère le 1^{er} octobre aurait donc joué un rôle important dans la diminution des niveaux observés, à la fois en écourtant la période où les niveaux de NO_x sont

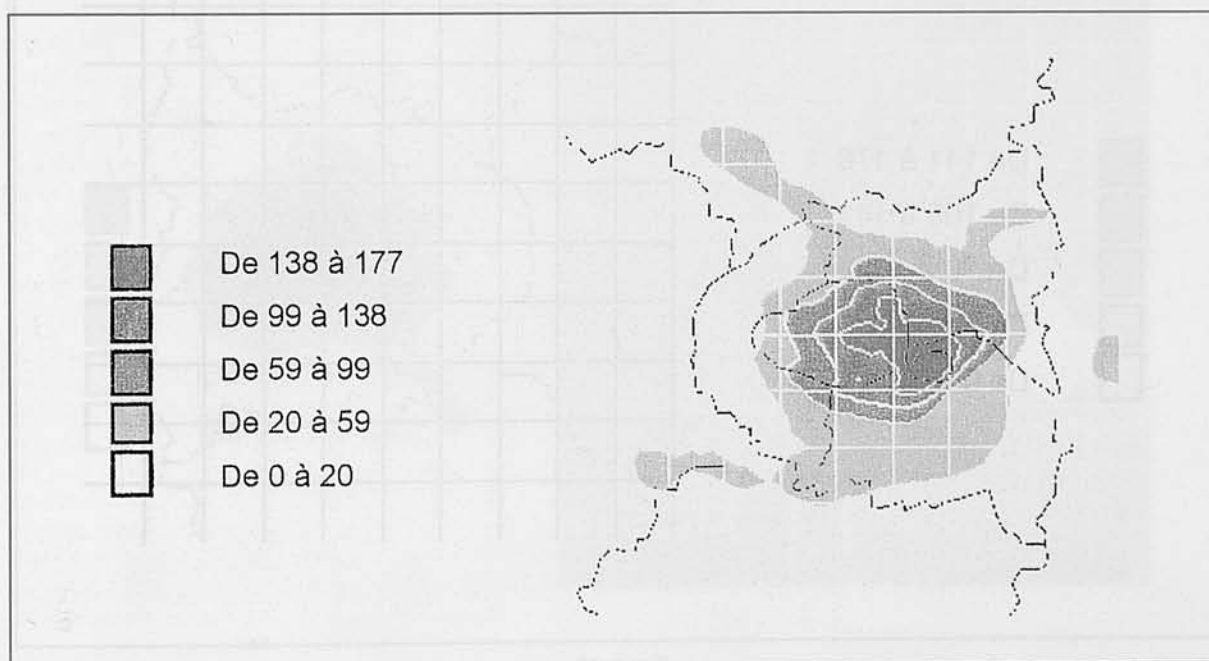


Figure 11.

Deltas des concentrations de NO_x entre les deux simulations (scénario 1 – référence) pour la journée du 1^{er} octobre 1997 à 10 h 00 (heure légale).

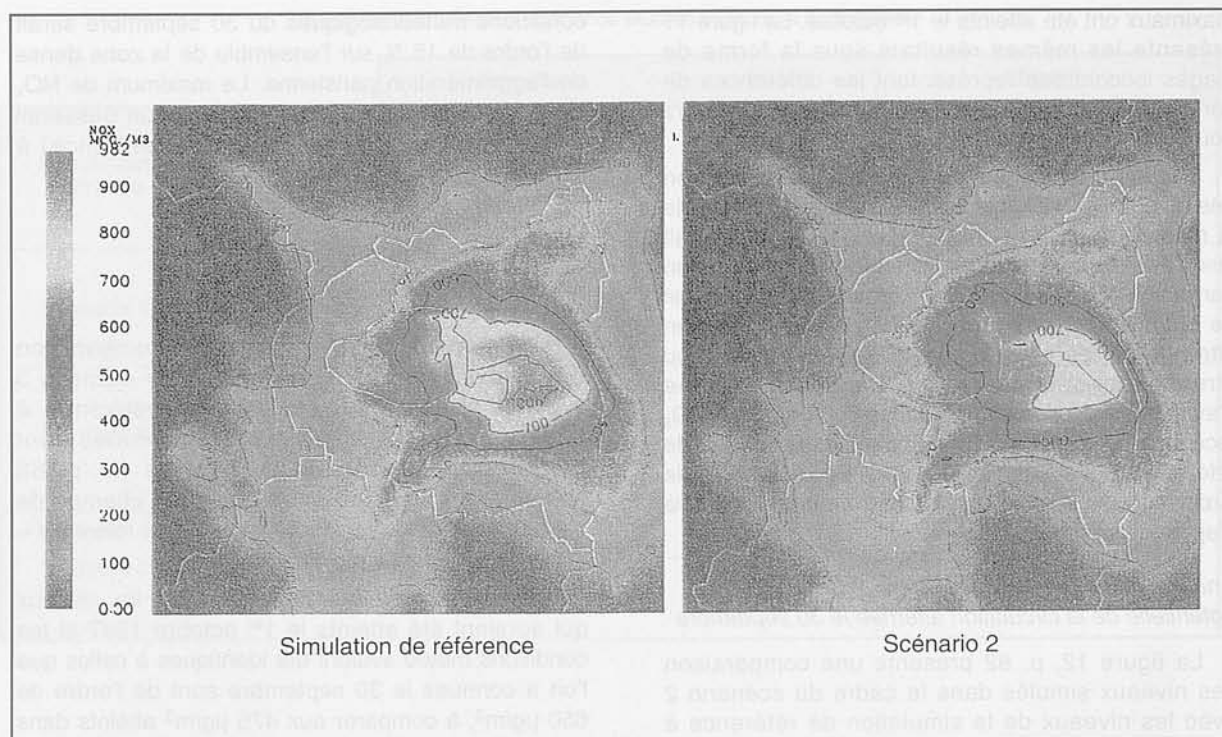


Figure 12.
Niveaux maximaux de concentrations de NO_x atteints dans le cas de la simulation de référence et dans le cas du scénario 2 pour la journée du 30 septembre 1997 à 12 h 00 (heure légale).

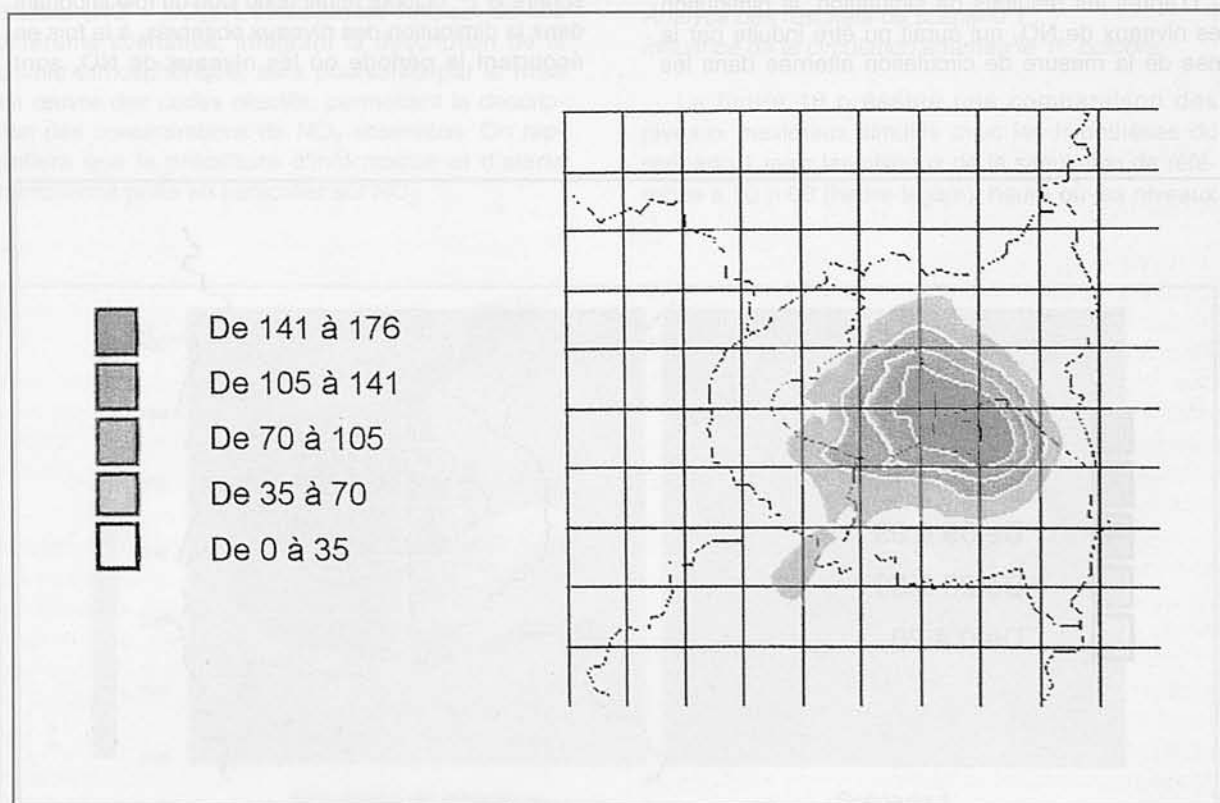


Figure 13.
Deltas des concentrations de NO_x
entre les deux simulations (référence – scénario 2)
pour la journée du 30 septembre 1997 à 12 h 00 (heure légale).

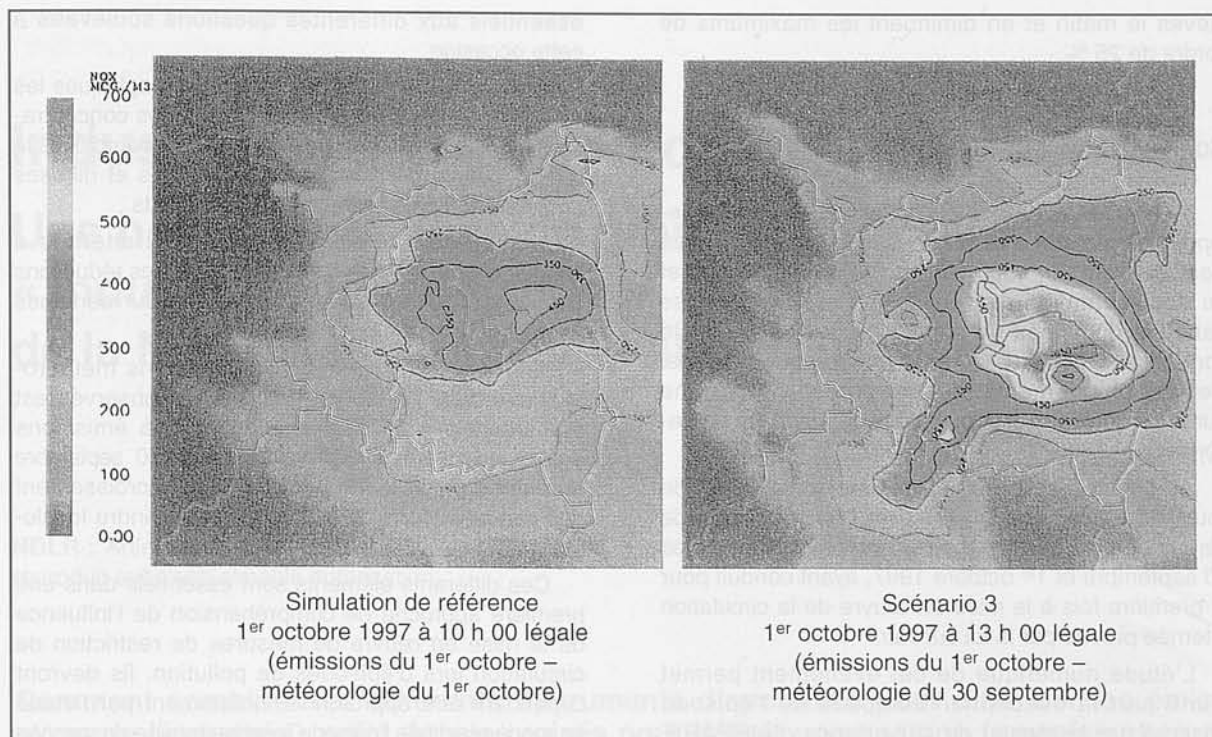


Figure 14.

Niveaux maximaux de concentrations de NO_x atteints dans le cas de la simulation de référence (image de gauche) et dans le cas du scénario 3 (image de droite).

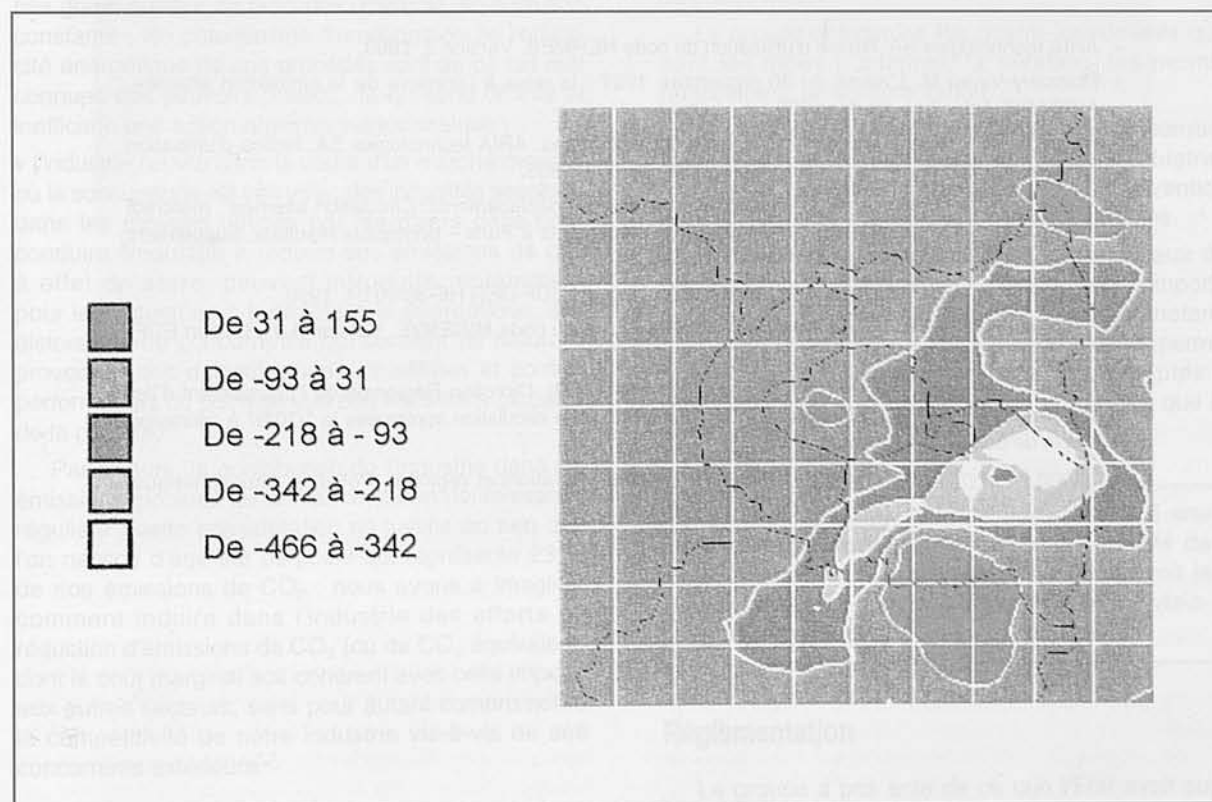


Figure 15.

Deltas de concentrations de NO_x entre les deux simulations (référence – scénario 3).

élevés le matin et en diminuant les maximums de l'ordre de 25 %.

Conclusion et perspectives

AIRPARIF a confié à ARIA Technologies le développement de son outil de simulation atmosphérique. Parallèlement, un important travail de description et de documentation des émissions atmosphériques dans les domaines de simulation envisagés a été conduit tant pour les émetteurs fixes que mobiles. Ces développements se sont poursuivis sur une durée de deux ans et sont désormais en phase opérationnelle.

Au-delà d'une phase préliminaire de validation de l'outil, AIRPARIF s'est engagé dans l'étude de l'épisode historique de pollution atmosphérique intervenu les 30 septembre et 1^{er} octobre 1997, ayant conduit pour la première fois à la mise en œuvre de la circulation alternée prévue par la loi sur l'air.

L'étude numérique de cet événement permet d'une part la description complète de l'épisode observé par le réseau de surveillance d'AIRPARIF lors de ces journées et permet d'autre part, dès à présent, d'apporter des premiers éléments de réponse

essentiels aux différentes questions soulevées à cette occasion.

- En premier lieu, dans les zones géographiques les plus concernées par l'épisode, la part des concentrations de NO_x imputables au trafic de l'ensemble de la région s'élève à 80 %, les sources fixes et diffuses contribuant à part égale aux 20 % restants ;
- La mise en œuvre de la circulation alternée a conduit pour la journée du 1^{er} octobre à des réductions des concentrations de NO_x observées sur certaines zones pouvant atteindre 20 % ;
- Enfin, le rôle favorable des conditions météorologiques dans l'évolution des niveaux observés est également mis en évidence puisque, à émissions égales, les conditions météorologiques du 30 septembre auraient conduit le 1^{er} octobre à un accroissement des concentrations de NO_x pouvant atteindre localement 25 %.

Ces différents éléments sont essentiels dans une première approche de compréhension de l'influence de la mise en œuvre de mesures de restriction de circulation lors d'épisodes de pollution. Ils devront cependant être approfondis, notamment par l'étude en mode réactif de l'épisode fournissant une description des concentrations de NO₂ effectivement observées par le réseau AIRPARIF.

Références

- ARIA technologies SA. Notice d'utilisation du code HERMES. Version 2, 1993.
- Boissavy-Vinau M. L'alerte du 30 septembre 1997 : la mise à l'épreuve de la circulation alternée. AIRPARIF Actualités, février 1998.
- Électricité de France. Direction des Études et Recherches. ARIA technologies SA. Notice d'utilisation du code MINERVE. Version 4.0. Rapport ARIA 95.002, 1995.
- Mairie de Paris, Direction de la voirie. Observatoire des déplacements. Circulation alternée : mercredi 1^{er} octobre 1997, analyse des conditions de déplacements à Paris – principaux résultats. Supplément au bulletin n° 31, 1998.
- Perdiel S. Note de principe du code HERMES. Rapport EDF-DER HE-33/90.04, 1990.
- Perdiel S, Moussafir J, Carissimo B. Note de principe du code MINERVE. Version 4.0. Rapport EDF-DER HE-33/95/008, 1995.
- Service Interdépartemental d'Exploitation Routière (SIER). Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France (DREIF). Bilan des mesures de restriction de la circulation appliquées le 1/10/97 à l'occasion du pic de pollution. Note interne, 1997.
- Simon F. Principe de mise en place d'un modèle opérationnel régional. Pollution Atmosphérique. Janvier-mars 1997.