

ARTICLES

Application du modèle eulérien UAM-V à l'étude de la pollution photochimique sur la région lyonnaise

Application of the eulerian model UAM-V to study photochemical pollution on greater Lyon area

Karine PAJOT*, Patrick CARLIER (†)**, Alain HENRIET*

Résumé

Cette publication, en deux parties, traite de l'application du modèle eulérien *Urban Airshed Model Variable-grid* sur deux épisodes de pollution par l'ozone, en juin 1995 et 1999. Le domaine d'étude est celui de la région lyonnaise (200 × 200 km², centré sur Lyon) constitué d'un maillage simple de 4 km de côté. UAM-V nécessite en entrée : les champs météorologiques, les champs qualité de l'air et les cadastres des émissions de polluants primaires des épisodes étudiés.

La première partie de cet article se focalise sur ce dernier item : cadastre des émissions, dont aucun résultat « prêt-à-l'emploi » n'est aujourd'hui disponible. Le principe de constitution d'un cadastre d'émissions se base sur la répartition temporelle puis spatiale des émissions annuelles anthropiques et biogéniques réparties par zones administratives fournies par le CITEPA (PRQA, 1994). Puis spécifiquement, les émissions COV sont réparties en espèces individuelles du mécanisme chimique d'UAM-V considéré, ici *Carbon-Bond IV*. Un traitement spécifique des émissions automobiles sur l'agglomération de Lyon a été réalisé à partir de la représentation du trafic, de la connaissance du parc automobile et des émissions unitaires des véhicules fournies par COPERT II. Ce travail préalable de constitution de la base de données émissions en entrée d'UAM-V est l'une des étapes les plus longues de la modélisation photochimique mais est indispensable pour reproduire le plus fidèlement possible un épisode d'ozone. Cette étude met en exergue l'absence de données appropriées à la modélisation et fournit quelques solutions et hypothèses qui permettent d'adapter les données relatives aux émissions actuellement disponibles aux entrées de modèles photochimiques eulériens. Elle met également en évidence les grandes incertitudes liées aux inventaires d'émissions de COV biogéniques et l'absence d'inventaire d'émissions de NO_x des sols agricoles.

La seconde partie montre que, sur deux épisodes modélisés, et à partir des meilleures données d'entrée actuellement disponibles, les teneurs en ozone calculées par UAM-V sont concordantes avec les mesures des réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Elle expose, spécifiquement sur le domaine de Lyon et pour les deux épisodes d'étude, l'effet sur les concentrations maximales d'ozone d'une modification des émissions automobiles. Elle présente également l'impact sur les pics d'ozone d'une réduction de la capacité oxydante de l'atmosphère via une diminution des teneurs de fond en ozone. L'étude des scénarios relatifs au transport routier révèle la nécessité d'adapter les mesures d'abattement des émissions au milieu où elles doivent être appliquées et aux conditions météorologiques. D'autant plus qu'au regard des coûts auxquels de telles stratégies de réduction des émissions mèneraient, l'incidence sur les pics d'ozone devrait être efficace. Alors que les résultats révèlent que l'incidence sur l'ozone de tels scénarios reste faible, voire aurait un effet inverse à celui escompté.

Cette étude montre alors que le paramètre fondamental dans le déclenchement du pic d'ozone est la capacité oxydante de l'atmosphère. Ainsi, une réduction des teneurs de fond en ozone tout en conservant ponctuellement des émissions voisines de celles d'aujourd'hui ne conduisent plus à de fortes valeurs d'ozone. La diminution de la capacité oxydante de l'atmosphère ne pourrait être obtenue que suite à une réduction massive de toutes les combustions (bois, charbon, pétrole...) de manière permanente et à l'échelle la plus étendue possible.

* PSA Peugeot-Citroën, DINQ/DRIA, route de Gisy, 78943 Vélizy-Villacoublay Cedex, France – E-mail : karine.pajot@mpsas.com

** Université Paris VII, Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques (LISA).

Abstract

This article deals with the application of the eulerian model *Urban Airshed Model Variable-grid* on two ozone pollution episodes, in June 1995 and 1999. The studied area was greater Lyon area ($200 \times 200 \text{ km}^2$ centred on Lyon). This area was divided up into grid cells measuring 4 km on each side. UAM-V requires in input : meteorological and air quality fields as well as gridded emissions of primary pollutants of the studied episode.

The first part of this article is focused on this last item : gridded emissions, where the available data can't be used directly in model input. The principle of the construction of the gridded emissions is based on the spatio-temporal allocation of anthropogenic and biogenic annual emissions broken down by administrative zone provided by the CITEPA (PRQA, 1994). Then specifically, for the VOC emissions, these are distributed in individual species of the chemical mechanism of UAM-V considered here, *Carbon-Bond IV*. A specific processing of automobile emissions in greater Lyon was carried out from traffic, fleet and emission factors of vehicles provided by COPERT II. This preliminary work of the construction of an emissions data base in input of UAM-V is one of the longest stages of photochemical modeling. But, it is essential most accurately to reproduce the simulated ozone episode. This study shows the lack of appropriate data for photochemical modeling and provides some solutions and assumptions which enable the adaptation of the data relating to currently available emissions to inputs of eulerian photochemical models. It also highlights great uncertainties related to the biogenic VOC emission inventory and the lack of the agricultural NO_x emission inventory.

The second part shows, on the two episodes modeled, from best currently available input data, calculated ozone concentrations by UAM-V agreed with air quality networks measurements. Then, this part exposes, specifically in the Lyon area and for the two studied episodes, the effect on the maximum ozone concentrations of a modification of automobile emissions. It also presents the impact, of a reduction in the Oxidant Capacity of Atmosphere *via* a reduction of ozone background concentrations, on the ozone peaks. The study of scenarios relating to road transport reveals the need for adapting abatement measurements, where they must be applied, to meteorological conditions. More especially as in comparison with the costs that such strategies of emissions reduction would induce, incidence on ozone peaks should be effective. Whereas results reveal that impact on ozone of such scenarios remains weak and even would have an opposite effect to that expected.

This study shows that the fundamental parameter in the formation of ozone peaks is the Oxidant Capacity of Atmosphere. So, a reduction of background ozone concentrations, while preserving local emissions close to those to today, lead to lower ozone values. The reduction of the OCA could be obtained only following a massive reduction of all combustion sources (wood, coal, oil...) in a permanent way and on a large scale.

I – Établissement d'un cadastre d'émissions

Construction of gridded emissions

Introduction

La pollution photochimique (ou photo-oxydante) devient un sujet préoccupant depuis ces dernières décennies. À titre d'illustration, dans l'hémisphère Nord, le niveau de fond de l'ozone troposphérique, le principal des photo-oxydants, depuis la fin du XIX^e siècle a plus que quadruplé en passant d'environ 10 ppb en 1874 à 50 ppb actuellement [1, 2]. Cette pollution photochimique correspond au développement dans la troposphère d'une série de photo-oxydants, issus de mécanismes physico-chimiques complexes. Ces mécanismes sont le transport-diffusion, les processus de déposition et les transformations chimiques des espèces émises dans l'atmosphère. Dans l'objectif d'évaluer l'impact sur la qualité de l'air de mesures politiques de réduction des émissions, il est indispensable de tenir compte de l'ensemble des paramètres cités ci-dessus. Seuls les modèles mathématiques tridimensionnels de pollution photochimique intègrent tous ces paramètres et tentent de représenter numériquement les processus physico-chimiques qui contrôlent les teneurs en espèces troposphériques. La qualité d'un modèle passe par la paramétrisation des équations mais également par la qualité des données d'entrée. Parmi les données d'entrée à bien documenter, se trouvent les inventaires des émis-

sions de polluants primaires, essentiellement COV et NO_x . Un bon inventaire est d'autant plus important qu'il constitue la base pour réaliser des scénarios d'émissions afin d'évaluer des stratégies de contrôle de rejets atmosphériques. Ce qui signifie que les résolutions spatiale et temporelle, par espèce chimique et par catégorie d'activité, doivent être très affinées et d'une grande fiabilité.

C'est sur la méthodologie d'élaboration d'un cadastre d'émissions, adaptée aux besoins des modèles photochimiques, que cet article se focalise. Il présente, tout d'abord, la géographie du domaine étudié puis la méthodologie et les hypothèses utilisées pour élaborer cet inventaire. Il faut préciser que ce document n'a pas pour vocation d'analyser et critiquer le modèle d'inventaire d'émissions utilisé.

La finalité de ce cadastre d'émissions est d'alimenter un modèle photochimique, l'*Urban Airshed Model Variable-grid* (UAM-V), qui sera appliqué sur deux épisodes de pollution par l'ozone ayant eu lieu sur quelques jours, en semaine, en juin 1995 et juin 1999 sur le domaine lyonnais. Cet aspect constitue le premier des deux volets de cet article. L'étude sur la modélisation photochimique fait l'objet du second volet et s'intitule : « Mise en œuvre de scénarios de modification des émissions automobiles sur deux épisodes de pollution par l'ozone ».

Abréviations

- CB-IV : *Carbon-Bond mechanism IV*.
- CETE : Centres d'études techniques de l'équipement.
- CH₄ : méthane.
- CITEPA : Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique.
- CL : conditions limites (*Boundary Conditions – BC*).
- CO : monoxyde de carbone.
- COA : capacité oxydante de l'atmosphère (*Oxidant Capacity of Atmosphere – OCA*).
- COPERT : *COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport*.
- COURLY : Communauté urbaine de Lyon.
- COV : composés organiques volatils (*Volatile Organic Compounds – VOC*).
- COVNM : composés organiques volatils non méthaniques.
- DRIRE : Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement.
- ELO : Étude lyonnaise de l'ozone.
- EMITRA : *EMISSION TRAFIC*.
- FSH : Fonds de soutien aux hydrocarbures.
- GSP : grande source ponctuelle.
- HCR : hydrocarbures réactifs (*Reactive HydroCarbon – RHC*).
- HONO : acide nitreux.
- IFP : Institut français du pétrole.
- IGN : Institut géographique national.
- INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques.
- LIDAR : *Light Detection And Ranging*.
- NO : monoxyde d'azote.
- NO₂ : dioxyde d'azote.
- NO_x : oxydes d'azote (NO + NO₂).
- O₃ : ozone.
- OH[•] : radicaux hydroxyles.
- PAN : peroxy acétyl nitrate.
- PL : poids lourds.
- PRQA : Plans régionaux pour la qualité de l'air.
- RO₂ : radicaux peroxy.
- SAIMM : *Systems Applications International Mesoscale Model*.
- SNAP : *Selected Nomenclature for Air Pollution*.
- SO₂ : dioxyde de soufre.
- TU : temps universel (*Universal Time – UT*).
- UAM-V : *Urban Airshed Model Variable-grid*.
- VE : véhicule électrique.
- VP : véhicule particulier.
- VPD : véhicule particulier diesel.
- VPE : véhicule particulier essence.
- VUL : véhicule utilitaire léger.

Domaine d'étude

Le domaine de modélisation sélectionné mesure 200 km d'est en ouest et de 200 km du nord au sud, centré sur la ville de Lyon (Figure 1). Le maillage horizontal est régulier et homogène. Il est constitué de cellules de 4 km de côté.

À l'ouest du domaine, se situe le Massif central, au centre la Saône et le Rhône traversent des zones de plaine, puis à l'est se dessine un relief plus accidenté, celui des Alpes. Ainsi, le domaine de calcul

englobe la vallée du Rhône qui réunit à la fois des zones de plaine ainsi que des zones de moyennes et hautes montagnes. Cette région a été sélectionnée du fait de la diversité des émetteurs de polluants atmosphériques. En effet, la région lyonnaise est une zone de transit traversée par de grands axes routiers à trafic dense, notamment en ce qui concerne les poids lourds (A6, A7, A42, A43, A47, N7, etc.). Une activité industrielle intense est présente également dans cette région (*Couloir de la chimie* au sud de Lyon). La part non négligeable des forêts sur le domaine est aussi à prendre en considération.

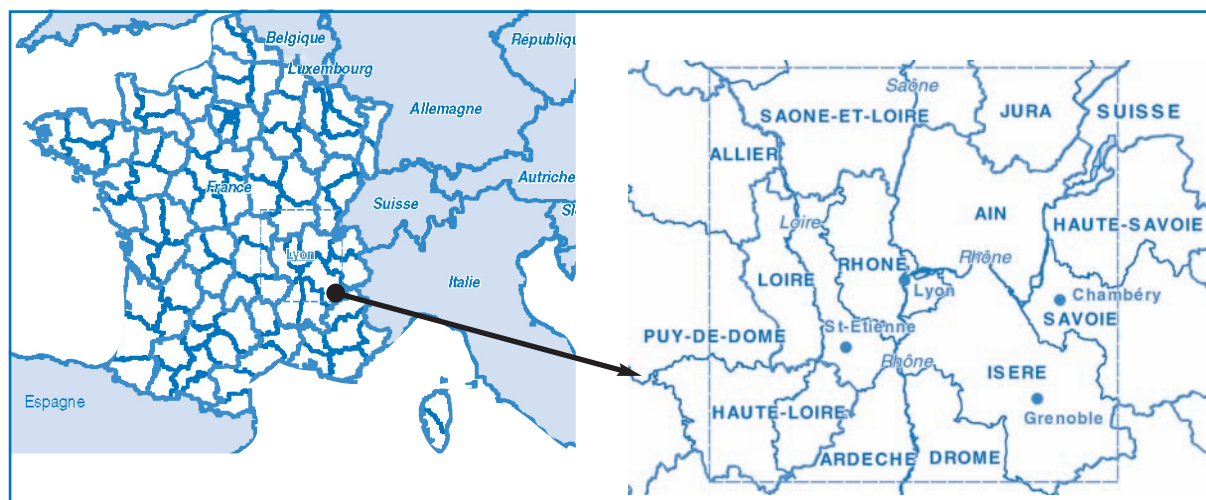


Figure 1.

Le domaine de modélisation (200 × 200 km²) centré sur la ville de Lyon, France [3].

(© MapInfo®. Reproduit avec autorisation. © Claritas®. Reproduit avec autorisation).

The modeling domain (200 × 200 km²) centered on the city of Lyon, France [3].

(© MapInfo® Reproduced with permission. © Claritas® Reproduced with permission).

Cadastres des émissions

Outil de simulation

Le principe de constitution de tels cadastres consiste, à partir de données d'émissions atmosphériques disponibles, à répartir de manière spatiale ($4 \times 4 \text{ km}^2$) et temporelle (1 heure) les émissions de la région étudiée selon les besoins du modèle photochimique. Il consiste également à fournir les espèces chimiques utilisées par le mécanisme chimique du modèle. Ceci est réalisé grâce à l'outil *Emission Manager*, développé par le bureau d'étude ARIA Technologies, qui est composé d'un module spécifique de calcul des émissions automobiles : *EMISSION TRAFIC (EMITRA)*.

EMITRA est conçu pour calculer les émissions du transport routier à partir de données de trafic : vitesse, nombre de véhicules, fraction des kilomètres véhicules circulant moteur froid. Ces données sont distribuées sur les axes routiers de la région d'étude. Les véhicules sont ventilés selon la répartition du parc de l'année considérée. Puis, à chaque catégorie de véhicule (selon la motorisation essence/diesel, la norme d'émission, la cylindrée) est attribué un facteur d'émission unitaire déterminé par polluant et suivant les conditions de circulation (urbain, route ou autoroute). Les émissions ainsi calculées tiennent compte des émissions à l'échappement, dont celles à froid, et des pertes par évaporation. Ces facteurs d'émissions proviennent de la base de données de l'outil européen d'inventaire des émissions automobiles COPERT II, *COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport* [4].

Source des données et méthodologie

Les cadastres des émissions constitués sont basés sur l'année 1995 et sont identiques pour les deux épisodes de juin 1995 et 1999. En effet, les marges d'incertitude reconnues sur ces inventaires couvrent l'évolution des émissions (amélioration des technologies, évolution du parc...) entre ces deux années [5].

L'inventaire a été réalisé grâce à la collaboration du Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (CITEPA) et de nombreux autres organismes parmi lesquels nous pouvons citer la Direction régionale des industries et de la recherche (DRIRE) et le Centre d'études techniques de l'équipement (CETE) de Lyon.

Les espèces chimiques émises documentées sont les suivantes : les oxydes d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de soufre (SO_2) et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM). La réactivité chimique des COVNM est fonction des espèces individuelles émises. Ainsi, pour chaque catégorie d'émetteur de COVNM, l'information sur la nature des différents composés a donc été documentée (voir p. 203).

Les émissions sont fournies par source regroupées en trois grandes classes : linéaire, surfacique et ponctuelle. Les émissions linéaires sont liées au trafic automobile des principaux axes routiers du domaine d'étude (autoroutes, nationales, départementales). Les sources surfaciques sont liées aux chauffages

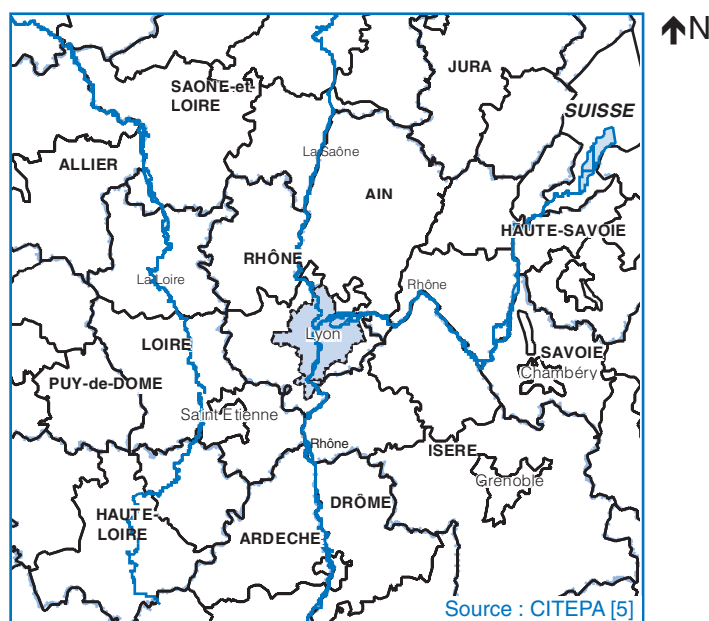


Figure 2.
Arrondissements administratifs définis par le CITEPA pour la répartition des émissions [3].
(© MapInfo ®. Reproduit avec autorisation.
© Claritas ®. Reproduit avec autorisation).
Administrative districts of CITEPA for emissions allocation [3].
(© MapInfo ® Reproduced with permission.
© Claritas ® Reproduced with permission).

domestiques, aux émissions industrielles diffuses (stations-service, teintureriers, etc.), aux émissions automobiles appartenant aux réseaux secondaires, à la présence de couverts végétaux, etc. Dans les sources ponctuelles, on regroupe les industries dont les émissions se font à haute altitude, généralement au-dessus de la première couche de la grille de modélisation (au-dessus de 50 m), complétées de quelques autres émetteurs moins élevés mais dont les émissions restent localisées, tels que les aéroports.

Les émissions annuelles par arrondissement administratif (Figure 2), établies par le CITEPA dans le cadre de Plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA)* pour l'année 1994, sont fournies par espèce chimique, et par type de source émettrice classée selon la nomenclature européenne *Selected Nomenclature for Air Pollution* (SNAP) (jusqu'au niveau 3 de la nomenclature) [5]. À l'aide d'*Emission Manager*, ces émissions sont désagrégées avec une résolution horaire (voir ci-dessous) et sur des mailles de 4 km × 4 km (voir ci-contre), afin de remplir les besoins du modèle UAM-V.

Les résultats en sortie d'*Emission Manager* correspondent à la combinaison des trois étapes consécutives suivantes :

- **la résolution temporelle** : à partir des émissions annuelles du PRQA, le modèle effectue une répartition horaire de ces émissions. Il faut donc définir des clés de répartition temporelle (annuelle, hebdomadaire et journalière), afin de convertir les moyennes annuelles en valeurs horaires. La température, la durée d'insolation, les cycles de production, le temps de travail et les statistiques du trafic sont les principaux indicateurs utilisés pour la modulation temporelle par type d'activité (voir Annexe 1 p. 208-210). À titre d'exemple, l'évolution horaire du trafic automobile est la

moyenne du trafic relatif aux grands boulevards, aux voies urbaines et au centre-ville, évalué par le CETE de Lyon (Figure 3) ;

- **la répartition spatiale** : les émissions surfaciques, établies à l'échelle de l'arrondissement administratif, sont projetées sur le domaine maillé. Nous avons prévu dans une prochaine étape de répartir plus finement ces émissions à l'intérieur de chaque arrondissement en utilisant des « substituts d'activité » tels que la population (Institut national de la statistique et des études économiques – INSEE), l'occupation des sols (*Corine Land Cover*, Institut géographique national – IGN), etc. Quant aux émissions des sources ponctuelles, elles sont localisées selon les coordonnées géographiques de leurs émetteurs. Pour les besoins de la mise en œuvre de scénarios automobiles une répartition spatiale affinée du trafic automobile a été réalisée sur le domaine d'étude. Tout d'abord, les émissions linéaires du PRQA des axes routiers principaux (Figure 4) sont injectées le long de ces voies de circulation pour tout le domaine d'étude à l'exception de l'agglomération lyonnaise, la COURLY. Effectivement, ici les émissions ont été calculées à l'aide d'*EMITRA* (voir principe, Figure 5) à partir de sorties du modèle de trafic utilisé au CETE de Lyon : *POLYDROM*. Il s'agit en fait des vitesses, du nombre de véhicules et du pourcentage de kilomètres véhicules circulant moteur à froid qui sont documentés pour les axes exposés en figure 6 selon le parc de véhicules préconisé par le CITEPA (≈ 60 catégories).

- **la spéciation en espèces COVNM du modèle** : les émissions de COVNM du CITEPA sont classées par procédé distribué selon les catégories SNAP. À chaque catégorie SNAP correspond un profil de spéciation en espèces chimiques réelles COVNM. Cette spéciation en espèces individuelles provient de

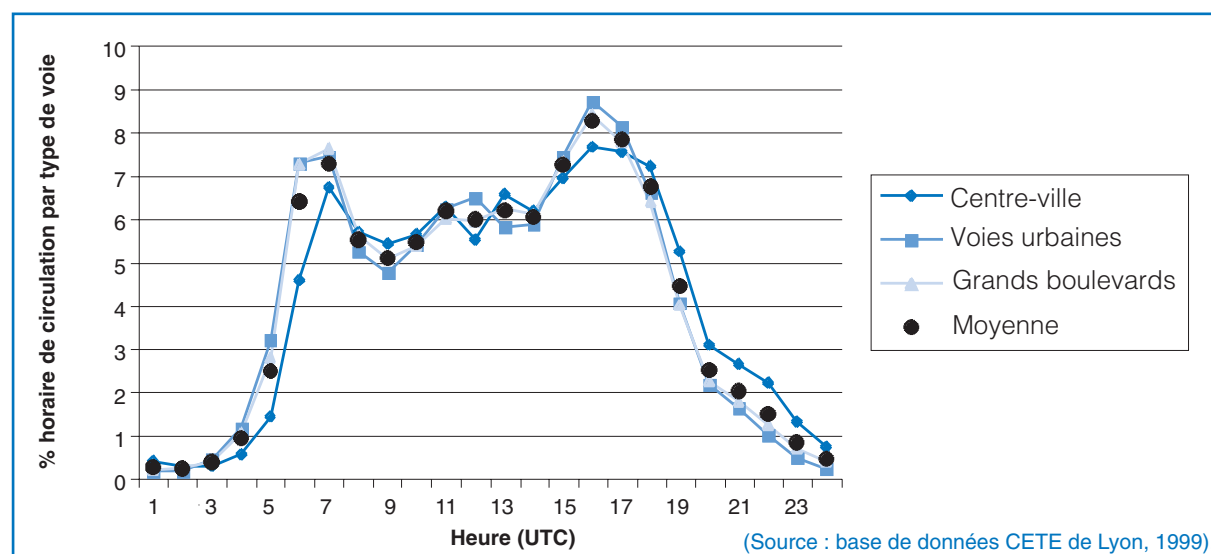


Figure 3.

Profils horaires de trafic automobile associés au centre-ville, aux voies urbaines, aux grands boulevards et profil moyen [3].

Hourly traffics of city, urban streets and large streets and mean traffic [3].

* Outil de planification pour réduire la pollution à moyen terme à l'échelle de la région au travers d'objectifs de la qualité de l'air.

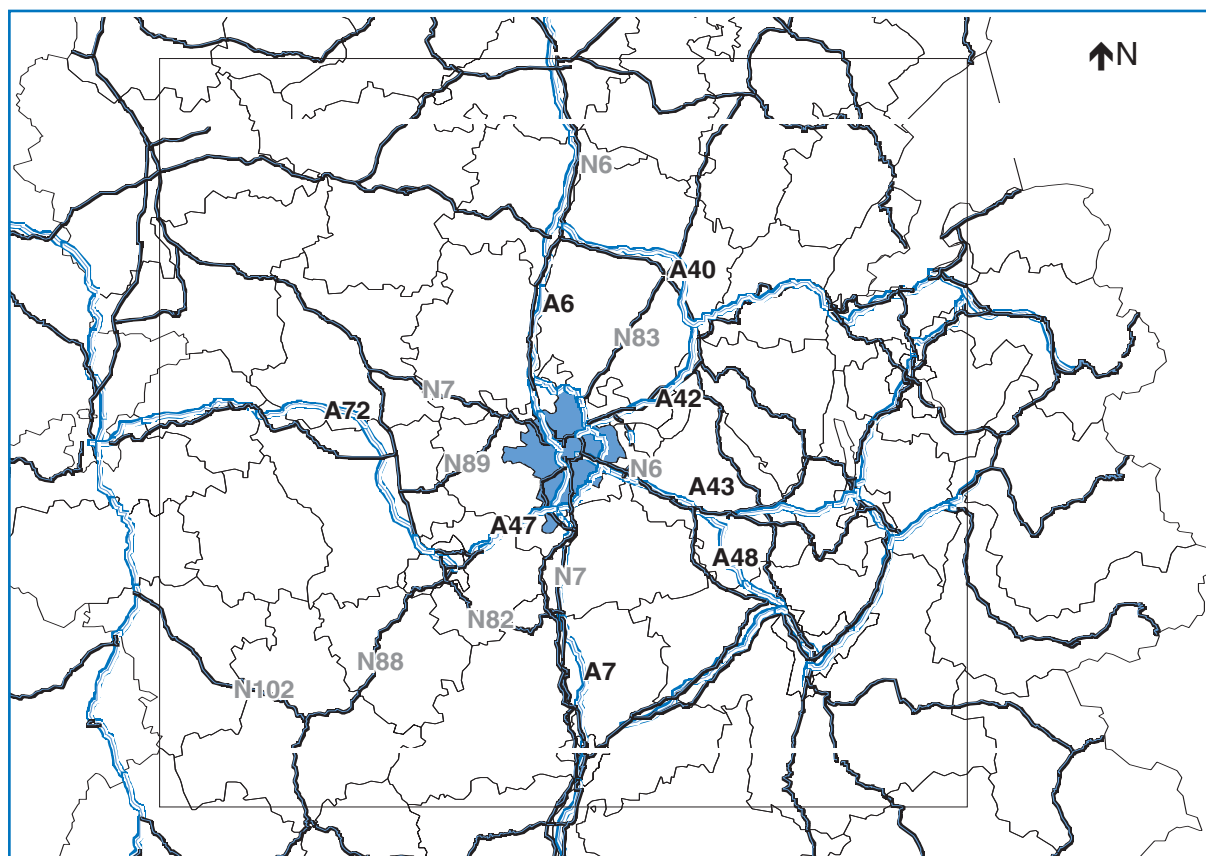


Figure 4.

Répartition des émissions linéaires (axes bleus) sur le domaine de modélisation [3].
 (© MapInfo ®. Reproduit avec autorisation. © Claritas ®. Reproduit avec autorisation).
 Spatial location of traffic emissions (blue line) on modeling domain [3].
 (© MapInfo ® Reproduced with permission. © Claritas ® Reproduced with permission).

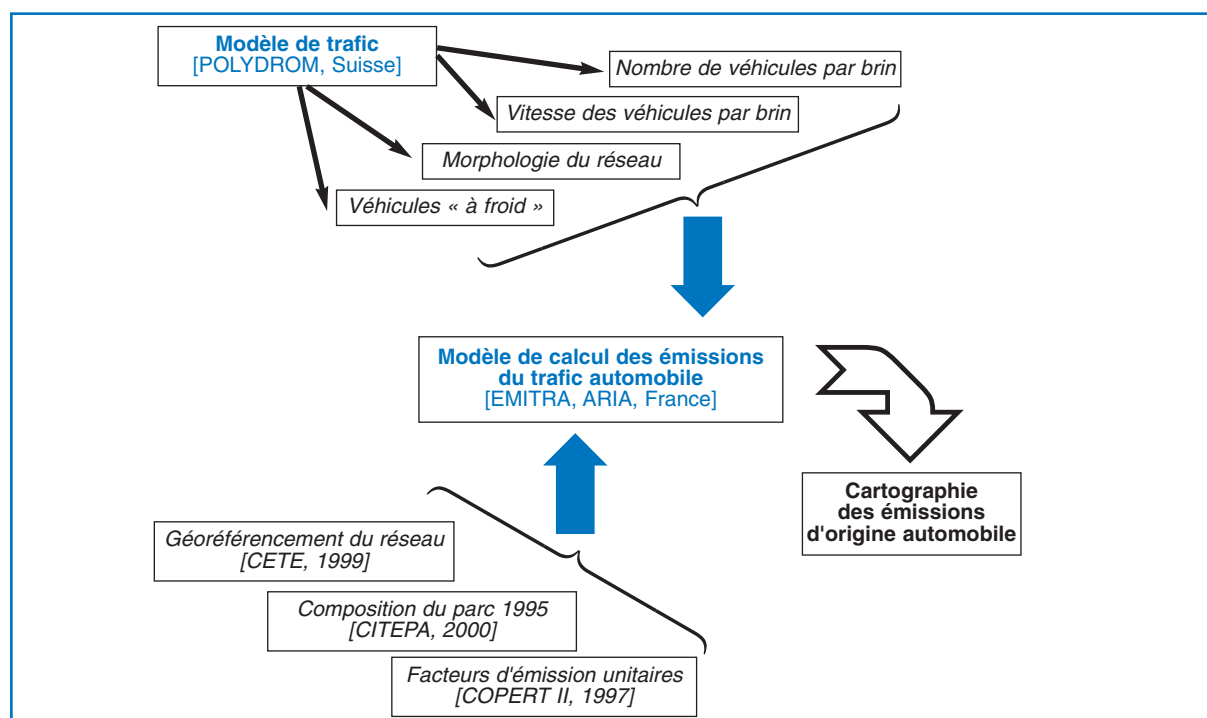
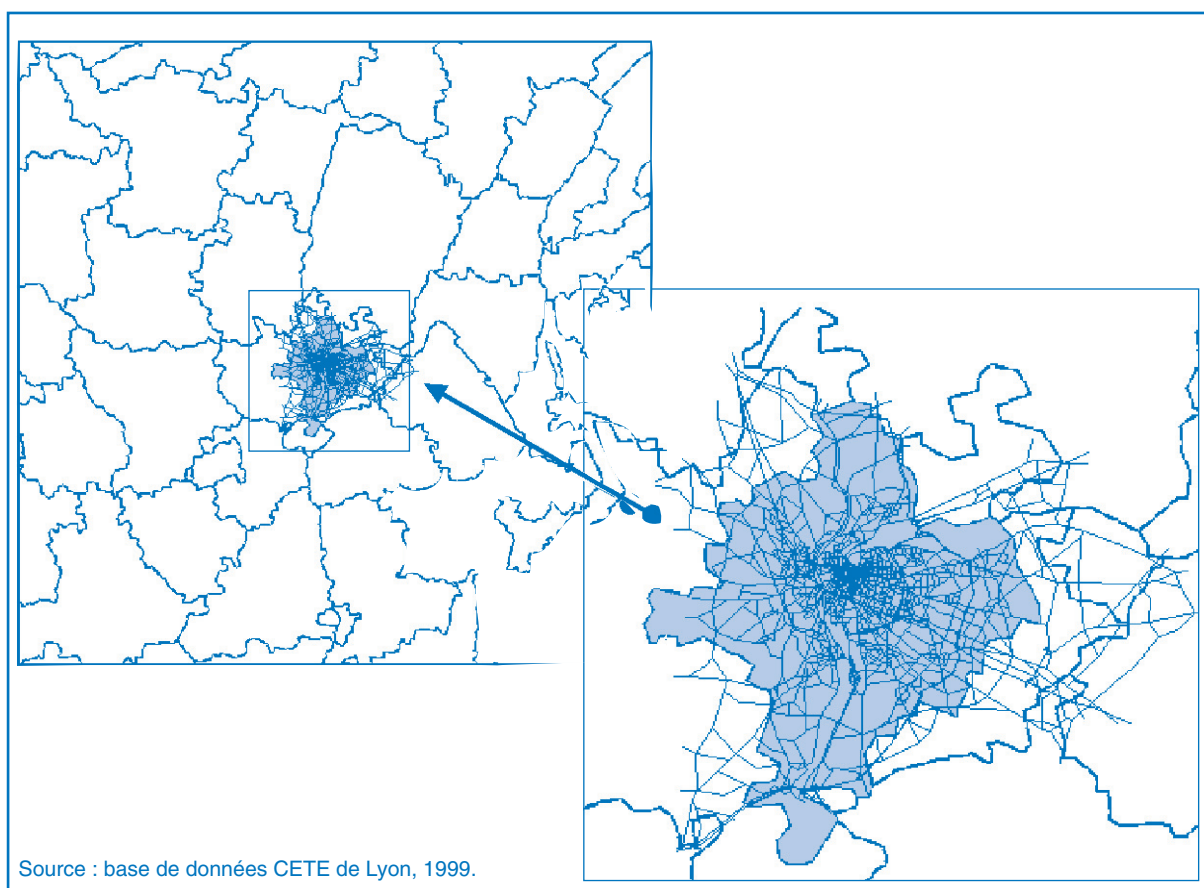


Figure 5.

Principe du modèle d'inventaire des émissions, EMITRA, à partir de données du trafic routier [3].
 Traffic emissions modeling chain, EMITRA, with its input data [3].



Source : base de données CETE de Lyon, 1999.

Figure 6.

Description du réseau routier de la COURLY : $\approx 50 \times 50 \text{ km}^2$ [3].

(© MapInfo ®. Reproduit avec autorisation. © Claritas ®. Reproduit avec autorisation).

The road network of the COURLY : $\approx 50 \times 50 \text{ km}^2$ [3].

(© MapInfo ® Reproduced with permission. © Claritas ® Reproduced with permission).

l'inventaire d'émissions GENEMIS, qui a été développé par l'équipe de M. Friedrich de l'université de Stuttgart, en Allemagne [6]. Cette répartition en espèces réelles est ensuite agrégée en espèces du modèle du code photochimique utilisé, en l'occurrence *Carbon-Bond mechanism IV* (CB-IV) le mécanisme chimique d'UAM-V.

Remarques sur la réalisation du cadastre

Analyse de la méthodologie

Ce travail d'élaboration d'un cadastre des émissions nous a montré que les bases de données disponibles ne sont pas toujours adaptées aux besoins des modèles. Les points qui suivent illustrent ce constat [7].

Ces cadastres constituent les données d'entrée de la modélisation et sont la base de la réalisation de scénarios de modification des émissions [8]. Les inventaires régionaux actuellement disponibles n'ont pas les résolutions spatiale et temporelle ainsi que la spéciation des composés émis adéquates aux entrées des modèles photochimiques. De ce fait, il est

indispensable de recourir à des hypothèses pour combler ce manque. C'est ainsi que, dans le cadre d'un groupe de travail du Fonds de soutien aux hydrocarbures* (FSH), nous avons établi une base de données relative aux clés de répartition temporelles des émissions (voir Annexe 1, p. 208-210). De plus, par rapport à ce qui a été réalisé jusqu'à maintenant, des affinements sur la répartition spatiale des émissions sont encore possibles ainsi qu'une spéciation plus fine des espèces réelles COVNM et qui soit dans la mesure du possible caractéristique des émissions françaises.

L'utilisation des résultats de modèle de trafic, pour réaliser l'inventaire des émissions du transport routier sur Lyon, présente deux difficultés majeures. Les données disponibles sont celles des heures de pointe (matin et soir) et non les valeurs horaires au cours de la journée. De plus, le nombre de véhicules est donné toutes catégories confondues (véhicules légers et poids lourds). Des solutions provisoires peuvent être envisagées afin de résoudre ce problème, mais elles peuvent engendrer des incertitudes supplémentaires aux données d'entrée, telles que l'application d'un parc national sur une ville.

* Partenaires du FSH : Elf, Total Fina, Renault, PSA ainsi que l'IFP et ARIA Technologies.

Limite de la méthodologie

L'évaluation des émissions est entachée d'incertitudes variables selon principalement la nature de l'activité. Ainsi, des données consolidées concernant les émissions biogéniques seraient nécessaires. Effectivement, les incertitudes liées à cette source diffuse sont très élevées, de l'ordre de quelques centaines de pour-cent [9] comparées aux erreurs de quelques dizaines de pour-cent pour les émissions canalisées liées aux activités humaines du type industrie ou automobile. On note également que les émissions d'oxydes d'azote des sols fertilisés ne sont pas répertoriées dans les inventaires actuels. Ces questions sont d'autant plus préoccupantes que, au cours de ces deux épisodes modélisés en période estivale, les émissions de COV en zone forestière et de NO_x en région fortement agricole sont importantes.

Avant de clore ce paragraphe, il faut préciser que l'utilisation de données très affinées génère un coût financier et en temps de calcul. C'est pourquoi, avant de recourir à de telles données, nous devons nous assurer au préalable des améliorations obtenues sur les résultats de modélisation. L'analyse de sensibilité est le meilleur moyen d'évaluer l'incidence de la variation de chaque donnée d'entrée sur les résultats du modèle et ainsi d'identifier les paramètres d'entrée pour lesquels une bonne documentation est nécessaire.

Résultats de l'inventaire

L'étude ainsi menée a permis d'estimer les émissions horaires sur tout le domaine. Nous présentons respectivement en figure 7 et en figure 8 la carte spatiale des émissions journalières de NO_x (a) et d'hydrocarbures réactifs (HCR) (b) pour les sources surfaciques (dont automobiles) et ponctuelles.

Sur le cadastre des émissions surfaciques des NO_x (Figure 7a), les grands axes routiers sont bien visibles reliant les grands centres urbains : Lyon, Saint-Étienne, Grenoble et Valence. Sur la figure 7b, les émissions surfaciques d'hydrocarbures sont essentiellement émises dans les grandes villes : Lyon, Saint-Étienne, Chambéry, Grenoble et Valence.

La figure 8 illustre la localisation de chacune des grandes industries émettrices de polluants dans l'atmosphère : de NO_x pour la figure 8a et d'hydrocarbures pour la figure 8b. Le diamètre des cercles étant proportionnel à la quantité émise.

Le tableau 1 résume la répartition des émissions journalières (en %) par type d'activité calculées par l'outil *Emission Manager* à partir des meilleures données actuellement disponibles, pour la totalité du domaine, sur la période considérée.

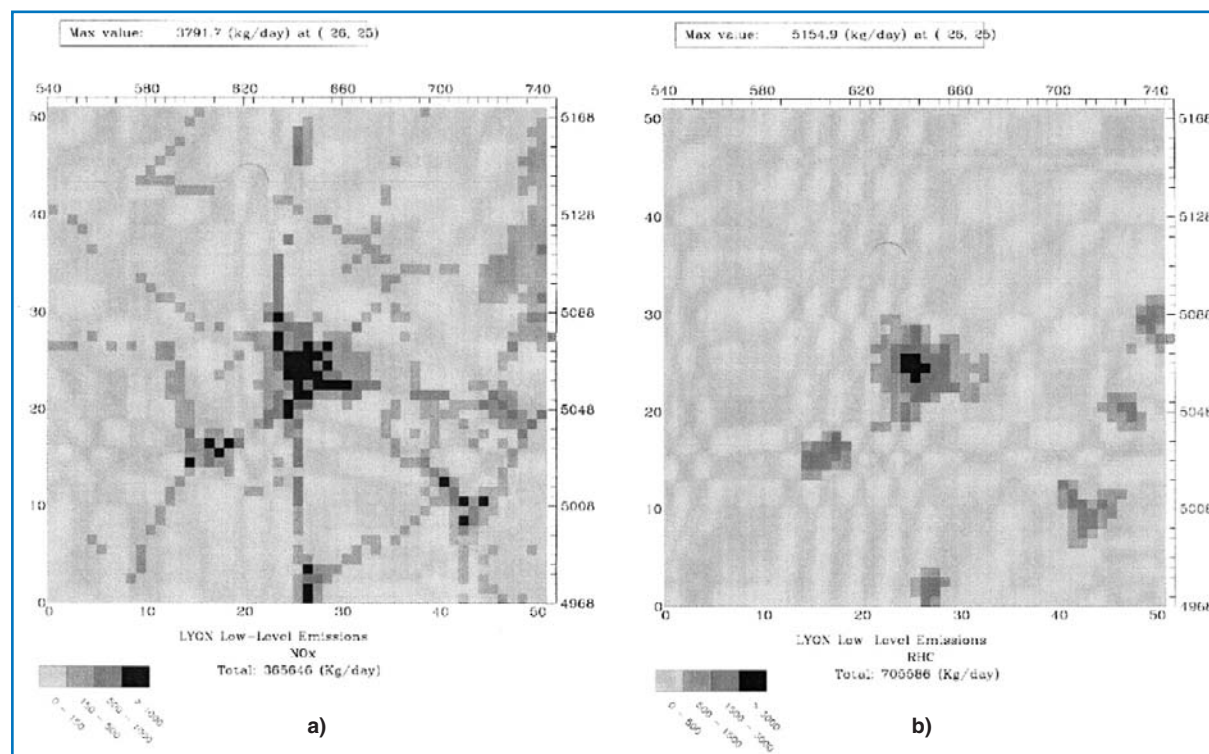


Figure 7.

Cadastres des émissions surfaciques (dont les émissions automobiles) de NO_x et de HCR pour une journée de juin sur le domaine lyonnais [3].

NO_x and RHC daily gridded area emissions (with traffic) for a typical day of June in the Lyon domain [3].

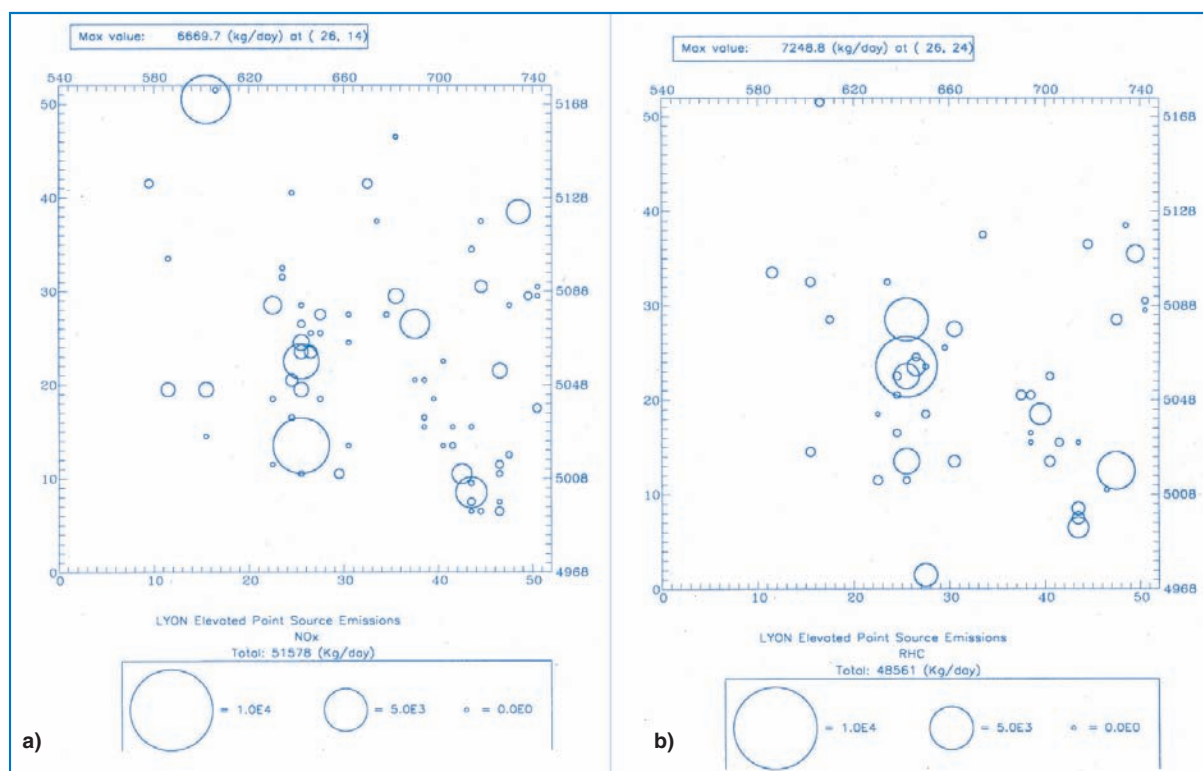


Figure 8.

Cadastres des émissions des sources ponctuelles de NO_x et de HCR pour une journée de juin sur le domaine lyonnais [3].

NO_x and RHC daily gridded elevated point emissions (with traffic) for a typical day of June in the Lyon domain [3].

Tableau 1.

Répartition relative (%) des émissions par type d'activité d'une journée de juin 1995 sur le domaine d'étude lyonnais [3].

Relative distribution (%) of emissions per activity for a typical day of June in the Lyon domain [3].

	NO_x	HC
Combustion	12	4
Procédés de production	1	2
Extraction et distribution de combustibles fossiles	0	3
Utilisation de solvants	0	28
Transport routier	74	40
Transport non routier	11	3
Traitement et élimination des déchets	2	0
Biogénique	0	21
Total	100	100

Le tableau ci-dessus révèle que le transport routier, parmi les sources documentées, est le principal émetteur d'oxydes d'azote sur le domaine d'étude.

Quant aux hydrocarbures, les sources majeures sont le trafic routier, l'utilisation de solvants et les sources naturelles.

Conclusion

Le travail de collecte des données brutes (émissions, localisation et caractéristiques des émetteurs, etc.) est une des phases les plus longues dans une étude de modélisation photochimique. En effet, la qualité d'une modélisation commence par la qualité des données en entrée et on constate que les bases de données disponibles ne sont pas forcément adaptées à la modélisation. Les améliorations majeures sont spécifiquement attendues sur la finesse des résolutions spatiale et temporelle des émissions ainsi que de la spéciation des espèces chimiques. Elles sont également souhaitées sur les données relatives

au trafic, i.e. des sorties de modèle trafic appropriées à la modélisation et pas seulement à la gestion du trafic. Des données de parc spécifiques à chaque région seraient également nécessaires.

Cette étude a mis également en évidence les très grandes incertitudes qui entachent certains secteurs, notamment les émissions de COV biogéniques et l'absence d'inventaire des émissions de NO_x agricoles.

À l'heure actuelle, ces cadastres ont été construits à partir des meilleures données disponibles et alimentent le modèle photochimique eulérien UAM-V. Ils demandent, bien sûr, d'être encore affinés et en priorité pour les paramètres où UAM-V montrera les plus grandes sensibilités.

Annexe 1

La base de données relative aux clés de répartition temporelle est décrite dans les tableaux ci-après. Elle est constituée de 17 profils annuels, 7 hebdomadaires et 17 journaliers répartis dans les 11 catégories SNAP de niveau 1. Ces profils ont été élaborés dans le cadre du groupe de travail FSH avec la participation d'Elf, Total Fina, Renault, PSA, l'IFP et ARIA Technologies. Pour chaque catégorie SNAP de niveau 2 est définie une seule clé temporelle par résolution annuelle, hebdomadaire et journalière.

Association des différents profils à chacune des 11 catégories SNAP [3].

Connection between temporal distributions and the 11 SNAP classes [3].

	n° profil mensuel	n° profil journalier	n° profil horaire
1 Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie	a1 ; a2 ; a3	s1 ; s2	j1 ; j2
2 Combustion hors industrie	a2 ; a4	s2	j3 ; j2
3 Combustion dans l'industrie manufacturière	a5 ; a6	s2 ; s3	j2 ; j4
4 Procédés de fabrication	a3 ; a6 ; a7 ; a8	s2	j2
5 Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique	a3 ; a9	s2 ; s4	j2 ; j5 ; j6
6 Utilisation de solvants et autres produits	a6 ; a7 ; a10	s2 ; s4	j2 ; j5 ; j7
7 Transport routier	a3 ; a9	s5	j6 ; j8
8 Autres sources mobiles et machines	a3 ; a7 ; a11 ; a12 ; a13 ; a14	s2 ; s4 ; s6 ; s7	j2 ; j5 ; j9 ; j10 ; j11 ; j12 ; j13
9 Traitement des déchets	a3	s2 ; s4	j2 ; j11
10 Agriculture et sylviculture	a3 ; a9 ; a14 ; a15 ; a16 ; a17	s2 ; s4	j2 ; j8 ; j14 ; j15 ; j16
11 Nature	a3 ; a9 ; a14 ; a17	s2	j2 ; j8 ; j16 ; j17

Les tableaux suivants décrivent les valeurs prises pour chacun des profils de la catégorie mensuelle, journalière puis horaire. Si nécessaire, des informations supplémentaires sur les profils sont précisées à la suite des tableaux.

• Clés de répartition temporelle mensuelles

Modulations mensuelles des 17 clés [3].

Monthly modulations of 17 keys [3]

N° profil	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Observations
a1	1,100	1,100	1,100	1,000	0,900	0,900	0,900	0,900	0,900	1,000	1,100	1,100	
a2	2,488	1,142	1,322	0,771	0,559	0,474	0,357	0,398	0,573	0,542	1,216	2,169	(1)
a3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
a4	1,550	1,550	1,550	1,000	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	1,000	1,550	1,550	
a5	1,100	1,120	1,120	1,120	1,000	1,000	0,910	0,700	0,980	1,000	1,000	0,950	
a6	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	0,000	1,091	1,091	1,091	1,091	
a7	1,043	1,043	1,043	1,043	1,043	1,043	1,043	0,522	1,043	1,043	1,043	1,043	
a8	1,355	1,407	0,868	0,868	0,868	0,868	0,868	0,868	0,868	0,868	1,007	1,285	(2)
a9	0,277	0,604	0,521	0,894	1,233	1,454	1,928	1,730	1,202	1,272	0,567	0,318	(3)
a10	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	0,545	0,545	1,091	1,091	1,091	1,091	
a11	0,972	0,876	0,984	1,008	1,068	1,044	1,068	1,044	1,044	1,032	0,936	0,924	(4)
a12	0,500	0,500	0,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	0,500	0,500	0,500	
a13	1,340	1,340	1,340	0,660	0,660	0,660	0,660	0,660	0,660	1,340	1,340	1,340	
a14	0,000	0,000	0,000	0,000	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400	0,000	0,000	0,000	
a15	0,800	0,900	1,000	1,300	1,400	1,400	1,300	1,100	0,900	0,700	0,600	0,600	
a16	0,000	0,000	3,000	3,000	3,000	3,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
a17	0,200	0,200	0,200	0,500	1,600	2,300	2,300	2,300	1,500	0,500	0,200	0,200	

(1) Fonction de l'inverse des températures mensuelles moyennées sur le domaine.

(2) Profil fourni par une industrie papier du domaine d'étude.

(3) Fonction des températures mensuelles moyennées sur le domaine.

(4) Profil d'un aéroport du domaine.

• Clés de répartition temporelle journalières

Modulations journalières des 7 clés [3].

Daily modulations of 7 keys [3].

N° profil	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Observations
s1	1,060	1,060	1,060	1,060	1,060	0,850	0,850	
s2	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
s3	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	0,800	0,800	
s4	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167	0,000	
s5	1,038	1,038	1,038	1,038	1,038	0,960	0,850	
s6	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	0,000	0,000	
s7	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	1,920	1,920	

• Clés de répartition temporelle horaires

Modulations horaires en heures TU des 17 clés [3].

Hourly (UT) modulations of 17 keys [3].

N° profil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Obs.
j1	0,90	0,90	0,90	0,90	1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
j2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
j3	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
j4	0,27	0,27	0,27	0,27	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37	0,27	0,27	0,27	0,27	
j5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
j6	0,05	0,09	0,22	0,59	1,53	1,74	1,32	1,22	1,31	1,48	1,44	1,49	1,45	1,74	1,98	1,88	1,62	1,07	0,60	0,48	0,35	0,20	0,11	0,06	(5)
j7	0,80	0,80	0,80	0,80	1,00	1,00	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,00	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
j8	0,69	0,66	0,64	0,68	0,80	0,91	1,01	1,10	1,17	1,22	1,25	1,28	1,29	1,29	1,27	1,23	1,17	1,11	1,03	0,96	0,91	0,86	0,75	0,71	(6)
j9	0,00	0,00	0,00	0,00	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
j10	0,10	0,14	0,17	0,29	1,08	1,58	1,63	1,27	1,30	1,18	1,56	1,63	1,44	1,22	1,30	1,49	1,73	1,75	1,25	0,58	0,50	0,34	0,36	0,12	
j11	0,00	0,00	0,00	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
j12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
j13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
j14	0,70	0,70	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,60	1,50	1,20	1,00	0,90	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	
j15	0,00	0,00	0,00	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
j16	0,00	0,00	0,17	0,58	0,89	1,20	1,52	1,87	2,09	2,26	2,44	2,52	2,51	2,29	1,84	1,27	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	(7)
j17	0,20	0,20	0,20	1,00	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	

(5) Moyenne du trafic relatif aux grands boulevards, voies urbaines et centre-ville évaluée par le CETE de Lyon.

(6) Fonction des températures horaires moyennées sur le domaine.

(7) Un facteur de correction γ permet de rendre compte de la variation journalière des émissions biogéniques en fonction de la température et de l'ensoleillement, ceci spécifiquement pour l'isoprène. Le modèle montre que les variations de ce composé sont essentiellement dues aux facteurs lumière C_L et température C_T . Elles sont bien décrites par la relation de [10] :

$$\gamma_{iso} = C_T \cdot C_L \quad (A.a)$$

avec

$$C_{T_{iso}} = \frac{\exp(C_{T1} (T - T_s)/RT_s T)}{1 + \exp(C_{T2} (T - T_M)/RT_s T)} \quad (A.b)$$

R : constante des gaz parfaits 8,314 J.K⁻¹.mol⁻¹.

C_{T1} : 95 000 J.mol⁻¹

C_{T2} : 230 000 J.mol⁻¹ } [10, 11].

T_M : 314 K.

T : température de la feuille en K.

Ts : température standard, i.e. à 303 K.

$$\text{et, } C_{L_{iso}} = \frac{\alpha C_{L1} L}{\sqrt{(1 + \alpha^2 L^2)}} \quad (A.c)$$

α : 0,0027 (constante empirique).

C_{L1} : 1,066 (constante empirique).

L : PAR (radiation photosynthétiquement active) en $\mu\text{mol de photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$.

• Détermination des clés de répartition de quelques GSP

Quant aux principales industries du domaine d'étude, les distributions mensuelle, journalière et horaire nous ont été fournies directement par les industriels ou la DRIRE. Ces données sont confidentielles, elles ne sont donc pas présentées.

Références

1. Kley D, Voltz A, Mulheims F. Ozone measurements in historic perspective. *Tropospheric Ozone*, ISA Isaksen (ed) 1988 : 63-72.
2. Marengo A, Nedelec P, Pages JP, Macaigne M. Long term evolution of ozone at the mid-latitudes of the Northern hemisphere. *European Geophysical Society : XVII General Assembly (session OA-10)*, Edinburgh, April 1992 : 6-10.
3. Pajot K. Évaluation d'un modèle de pollution photochimique sur la région lyonnaise et mise en œuvre de scénarii de variation des émissions. Thèse, École Doctorale des Sciences de l'environnement, Chimie de la pollution atmosphérique et physique de l'environnement, Université de Paris VII Denis Diderot, juillet 2000.
4. European Environment Agency European Topic Center on Air Emission. COPERT II Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport – Methodology and emissions factors. 2nd edition, november 1997.
5. Fontelle JP, Chang JP, Audoux N, Levy C, Rivière E. Inventaire d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des Plans régionaux pour la qualité de l'air, Rhône-Alpes. CITEPA, octobre 1997.
6. Friedrich M. Spéciation COV de l'inventaire des émissions GENEMIS. Communication personnelle, Université de Stuttgart, Allemagne 1999.
7. Pajot K, Duclaux O, Valette P, Sabastia C. Application d'un système de modélisation photochimique sur un épisode d'ozone dans la région de Lyon. Journée d'étude du CITEPA, Paris, 3 novembre 1999.
8. Ponche JL. La nécessité des inventaires d'émissions. Colloque CNRS-INSU « Pollution Atmosphérique aux échelles locale et régionale », Paris, 16 mars 1999 : 11-2.
9. Luchetta L. Caractérisation et quantification dans la basse atmosphère de composés organiques volatils biogéniques et anthropiques contribuant à la pollution de l'air. Thèse de Doctorat de Physique et Chimie de l'environnement, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, novembre 1999.
10. Guenther A, Zimmerman P, Harley C, Monson R, Fall R. Isoprene and Monoterpenes emission rate variability : model evaluations and sensivity analyses. *J Geophys Res* 1993 ; 98 : 12609-17.
11. Guenther A, Zimmerman P, Klinger L, Greenberg J, Ennis C, Davis K, Pollock W, Westberg H, Allwine G, Geron C. A global model of natural volatile organic compound emissions. *J Geophys Res* 1995 ; 100 : 8873-92.

