

**Ecole des Mines de Douai**

**DEPARTEMENT CHIMIE ET ENVIRONNEMENT**

**Etude n° 12**

**APPLICATION D'UN MODELE DE DISPERSION DE  
POLLUANTS ATMOSPHERIQUES EN ZONE RURALE  
INFLUENCEE**

**Philippe OLIVIER, André WROBLEWSKI**

**Décembre 2001**

## Table des matières

RESUME.....	5
<b><u>PARTIE A : PRESENTATION DE L'ETUDE</u></b>	
<b><u>I) INTRODUCTION</u></b> .....	7
<b><u>II) RECHERCHE DU DOMAINE D'ÉTUDE ET DU MODELE</u></b> .....	8
II.1) Le milieu rural et la modélisation.....	8
II.2) Le domaine d'étude .....	10
II.3) Le modèle .....	13
<b><u>III) MISE EN PLACE DES OUTILS DE MODÉLISATION</u></b> .....	15
<b><u>IV) MISE EN APPLICATION DU MODÈLE SUR LE DOMAINE D'ÉTUDE</u></b> .....	16
<b><u>PARTIE B : DESCRIPTION DU DOMAINE DE SIMULATION</u></b>	
<b><u>I) L'INVENTAIRE DES EMISSIONS SUR LA REGION CENTRE</u></b> .....	18
I.1) Principes méthodologiques .....	18
I.1.1) Nomenclatures des sources émettrices .....	18
I.1.2) Types de sources.....	18
I.1.3) Principe de calcul des émissions.....	19
I.2) Emissions du secteur résidentiel .....	20
I.2.1) Les données primaires .....	20
I.2.2) Présentation schématique de la méthode de calcul des consommations énergétiques et des émissions.....	21
I.3) Emissions du transport routier .....	23
I.3.1) Calcul des émissions.....	23
I.3.2) Méthodologie utilisée .....	23
I.3.3) Cartographies des émissions de NOx et COV sur les autoroutes et nationales de la région Centre (1999).....	24
I.4) Le secteur industriel.....	24
I.5) Les sources biogéniques .....	25
I.6) Le secteur tertiaire.....	25
I.7) Le secteur agricole .....	25





## **RESUME de l'étude n°12 du rapport d'activité de l'école des Mines de Douai 2001**

Etude suivie par Philippe OLIVIER et André WROBLEWSKI

☎ : 03 27 71 26 21 et 03 27 71 26 11

### **APPLICATION D'UN MODELE DE DISPERSION DE POLLUANTS ATMOSPHERIQUES EN ZONE RURALE INFLUENCEE**

Les nouvelles réglementations Européennes prévoyant une évaluation des teneurs en polluants atmosphériques sur l'ensemble du territoire, il en résulte un effort à fournir en terme de couverture de surveillance de la qualité de l'air, en particulier dans les zones rurales qui sont rarement équipées de stations automatiques.

Pour cette raison, nous cherchons à mettre au point la réalisation de cartographies du dioxyde d'azote au moyen d'un modèle de dispersion atmosphérique, sur une zone rurale influencée dans le but d'estimer la pollution atmosphérique sur le secteur. L'objectif est de valider la méthode de modélisation dans le cadre d'une application de suivi de la pollution en zone rurale influencée.

Cette étude devrait permettre de formuler des recommandations d'application et de réaliser des cartographies annuelles et mensuelles de concentrations.

La première partie décrit la phase de mise au point des outils et des stratégies de modélisation à laquelle doit répondre toute expérience de modélisation. Il nous a fallu tout d'abord choisir le domaine de simulation, à travers les rapports d'étude des A.A.S.Q.A., et le modèle, en se penchant sur les applications correspondantes aux différents modèles.

Le domaine devait répondre à plusieurs critères tels que permettre la disponibilité d'un inventaire des émissions. De nombreuses raisons, et principalement la réalisation par Lig'air d'un inventaire des émissions, ont motivé notre choix pour la région Centre, plus précisément pour le secteur Chartres-Etampes-Châteaudun (4800 km<sup>2</sup>), situé au nord ouest d'Orléans.

Le but de l'étude a fortement motivé le choix du modèle. En effet, elle vise à estimer un taux moyen de pollution, et non à traiter un épisode de pollution éphémère (comme lors d'un rejet accidentel) ou un phénomène localisé (comme le comportement d'un panache à la sortie d'une cheminée industrielle) : c'est la raison pour laquelle un modèle eulérien est somme toute bien adapté à notre étude. Nous avons donc choisi le modèle eulérien tridimensionnel TRANSCHIM-R (Coria UMR 6614, INSA de Rouen), code universitaire qui sera facilement modifiable pour le rendre applicable à notre étude. En effet, nous projetons d'appliquer le modèle de manières différentes :

- dans un premier temps, le modèle va être appliqué, classiquement, sur une période de 14 jours, correspondant à celle d'une campagne de mesure par échantillonnage passif. Cette campagne, qui doit avoir lieu au printemps 2002, devrait permettre de comparer les résultats des mesures à ceux de la modélisation et de caler le modèle.

- Dans un second temps, nous comptons calculer des moyennes mensuelles et annuelles. Si nous procédions de la même manière que précédemment, c'est-à-dire en prenant compte sur la période simulée de toute les données météorologiques et les conditions aux limites du domaine, la quantité de données à traiter et les temps de calcul seraient considérables. Nous chercherons donc à synthétiser les données d'entrée : la météorologie sera traitée par secteurs de vents, les conditions limites moyennées. Le but sera d'obtenir des données d'entrée représentatives de la période sur laquelle nous cherchons à calculer les concentrations moyennes.

Dans la seconde partie, le domaine de simulation est décrit, du point de vue des émissions, puis de la qualité de l'air.

Les émissions seront prises en compte par l'intermédiaire des inventaires réalisés, d'une part par Lig'air, d'autre part par Airparif. L'inventaire des émissions de polluants sur la région Centre est actuellement mené par Lig'air, et sera fini au printemps 2002. Il prendra en compte les polluants primaires ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , COV,  $\text{CO}_2$ , particules, métaux lourds, produits phytosanitaires) rejetés par les différentes sources, c'est-à-dire le transport routier et non routier, les industries, le secteur résidentiel et tertiaire, et les émissions naturelles.

La qualité de l'air sur le domaine est présentée à travers l'exploitation de résultats de stations automatiques de Lig'air et Airparif durant les années 1999 et 2000. Elle permet d'évaluer l'éventail des concentrations auxquelles on doit s'attendre, et d'apprécier les différences entre les zones urbaines et les zones rurales en terme de pollution. En zone urbaine, les résultats montrent que les concentrations en oxydes d'azote sont fortement dépendantes de la saison et de l'intensité du trafic automobile. En zone rurale, les concentrations sont plus faibles et bien moins influencées par les saisons ou le trafic routier.

# ***APPLICATION D'UN MODELE DE DISPERSION DE POLLUANTS ATMOSPHERIQUES EN ZONE RURALE INFLUENCEE***

## **PARTIE A : PRESENTATION DE L'ETUDE**

### **I) INTRODUCTION**

Dans le cadre général de la surveillance de la qualité de l'air, l'application de modèles de dispersion de polluants atmosphériques remplit plusieurs fonctions, telles que tester des scénarii de réduction des émissions polluantes ou approfondir la connaissance des différents processus qui conduisent à la pollution atmosphérique. Les modèles peuvent aussi servir à la réalisation de cartographies de concentrations en polluants, sur des zones où la couverture spatiale des stations de mesure automatiques est insuffisante pour effectuer des interpolations fiables.

Les nouvelles réglementations Européennes prévoient justement une évaluation des teneurs en polluants atmosphériques sur l'ensemble du territoire. Il en résulte un effort à fournir en terme de couverture de surveillance de la qualité de l'air, en particulier dans les zones rurales qui sont rarement équipées de stations automatiques.

Pour cette raison, nous cherchons à mettre au point la réalisation de cartographies du dioxyde d'azote au moyen d'un modèle de dispersion atmosphérique, sur une zone rurale influencée dans le but d'estimer la pollution atmosphérique sur le secteur. L'objectif est de valider la méthode de modélisation dans le cadre d'une application de suivi de la pollution en zone rurale influencée.

Cette étude, menée en collaboration avec le Professeur Alexis Coppalle du Laboratoire d'Aérothermique Moteurs et Environnement de l'INSA de Rouen, devrait permettre de formuler des recommandations d'application et de réaliser des cartographies annuelles et mensuelles de concentrations.

La préoccupation actuelle en terme de qualité de l'air est fortement axée sur l'air urbain. Certes des mesures en zone rurale sont effectuées par le réseau de mesure EMEP qui inclut les stations MERA en France, mais elles visent à évaluer le transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe et ne concernent par conséquent que des sites ruraux les moins influencés possible. Autrement dit, les expériences de modélisation en zone rurale sont jusqu'à maintenant extrêmement rares. La mise en place d'une méthodologie revêt donc un caractère innovant.

Nous avons choisi d'utiliser un modèle tridimensionnel eulérien, appliqué sur un domaine de 4800 km<sup>2</sup> situé entre Paris et Orléans.

Dans un premier temps, le modèle va être appliqué sur une période de 14 jours, correspondant à celle d'une campagne de mesure par échantillonnage passif, afin de comparer les résultats des mesures à ceux de la modélisation et de caler le modèle.

Dans un deuxième temps, nous comptons calculer des moyennes mensuelles et annuelles. Si nous procédions de la même manière que précédemment, c'est-à-dire avec toutes les données météorologiques et les conditions aux limites sur la période considérée, la quantité de données à traiter et les temps de calcul seraient considérables. Nous chercherons donc à synthétiser les données d'entrée, le but étant d'obtenir des données d'entrée représentatives de la période sur laquelle nous cherchons à calculer les concentrations moyennes.

## **II) RECHERCHE DU DOMAINE D'ETUDE ET DU MODELE**

### **II.1) Le milieu rural et la modélisation**

La modélisation de la pollution atmosphérique vise essentiellement à étudier la qualité de l'air urbain et l'impact de sources industrielles. C'est pourquoi les expériences de modélisation réalisées en zone rurale concernent essentiellement des épisodes de pollution photochimique à l'ozone (réalisées à l'aide de modèles eulériens) ou des études d'impact de sources industrielles en SO<sub>2</sub>, particules et autres polluants industriels caractéristiques (réalisées à l'aide de modèles gaussiens[1]).

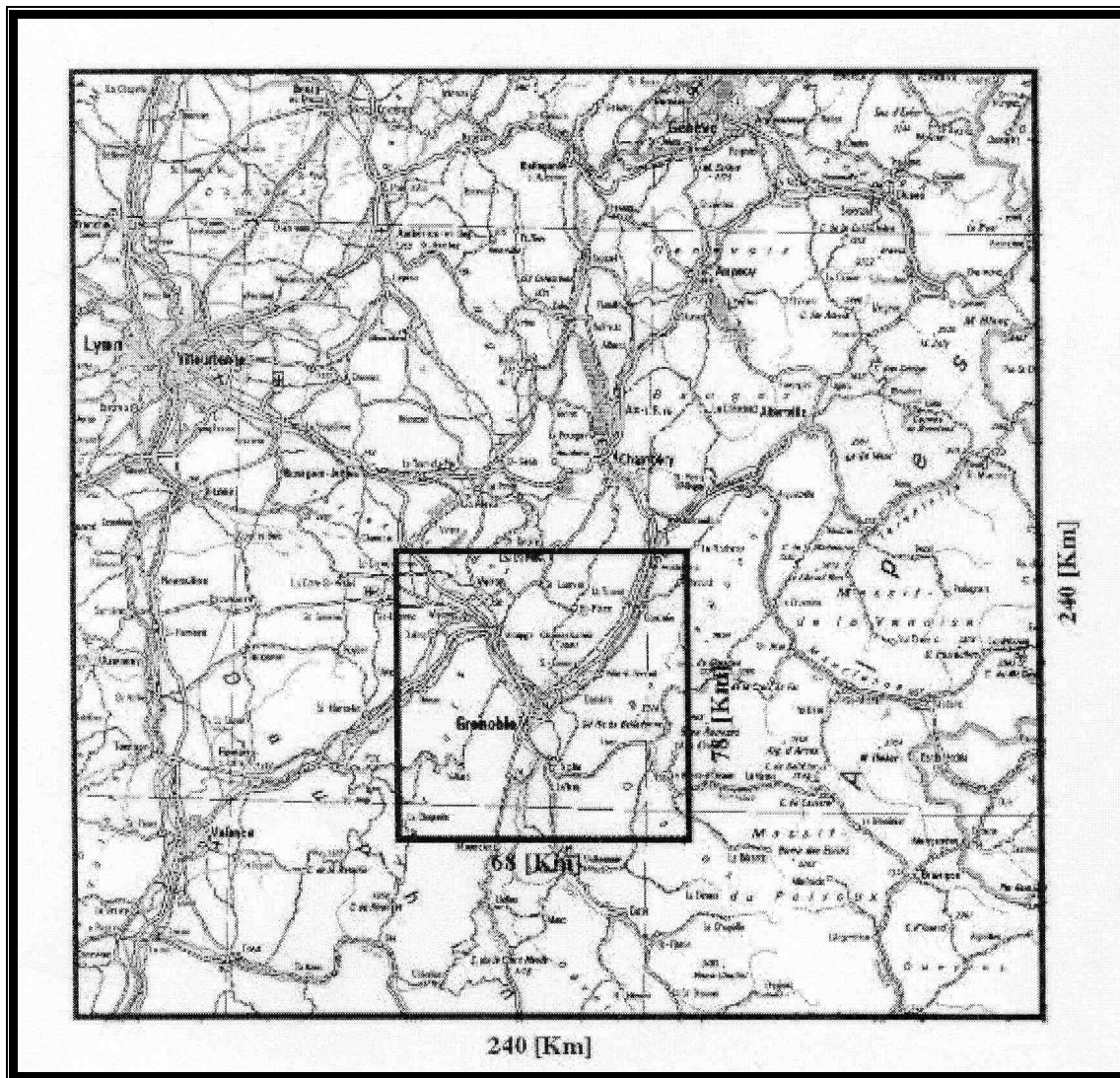
- Les expériences de modélisation en zone rurale proprement dite concernent les études d'impact industriel. De manière générale, les modèles les plus utilisés pour ces études sont les modèles gaussiens. C'est l'une des applications les plus anciennes de la dispersion atmosphérique qui a justifié le développement des tous premiers modèles gaussiens. Ainsi, il s'agit d'un domaine dans lequel il existe un nombre assez important de références, relatives à des campagnes de mesure d'envergure, utilisées pour calibrer les modèles. Parmi les modèles gaussiens traditionnels les plus connus, nous pouvons citer ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term) et ISCLT3 (Industrial Source Complex Long Term) [EPA 1995] qui sont les modèles de référence de l'USEPA (Agence de l'environnement américaine). Dans la catégorie des modèles gaussiens de seconde génération, nous pouvons citer AERMOD [EPA 1998] et ADMS3 [CERC 1999]. Les modèles ADMS, AERMQD et ISC3 ont fait l'objet d'exercices d'évaluation, y compris en zone rurale à Kinkaid (Illinois) sous l'influence d'une centrale [2]. Un gaz traceur (SF<sub>6</sub>) était injecté dans les gaz d'émission de la cheminée et 200 capteurs étaient placés jusqu'à 200 km sous le vent. Par la suite, AERMOD et ISC ont fait l'objet de la même expérience, mais pour le SO<sub>2</sub> qui se dégageait de la cheminée [3]. Ce genre d'expériences montre bien que de tels modèles ne seraient pas capables de simuler l'évolution des concentrations de polluants dans une zone où les sources seraient en grande partie situées à l'extérieur, comme c'est le cas pour une zone rurale influencée.
- Le champ d'application qui se rapproche plus de notre étude concerne l'impact régional. Il s'agit de traiter le comportement des polluants dans le cadre de la zone de surveillance d'une Association, afin d'appréhender les différents facteurs qui contrôlent la pollution sur le site. A cette échelle (typiquement 300 x 300 km<sup>2</sup>), la problématique s'inscrit dans l'évaluation des transports inter-agglomérations et dans l'évaluation des pollutions externes au domaine. Dans cette optique, deux types de modèles doivent être utilisés : un modèle régional imbriqué dans un modèle de transport transfrontières (domaine de 1000 x 1000 km<sup>2</sup>). Ce champ d'application vise principalement à évaluer le "panache urbain" et son influence sur les zones rurales proches. Cette modélisation à l'échelle régionale nécessite de lourds moyens numériques et un important volume de données d'entrée (météorologie, inventaire d'émissions, conditions aux limites). Cela implique l'imbrication de modèles de différentes échelles pour évaluer au mieux les apports externes au domaine. C'est pourquoi les outils développés pour simuler la qualité de l'air en zone régionale s'appuient fortement sur la représentation tridimensionnelle du transport des polluants à l'aide de modèles eulériens. Parmi les modèles eulériens les plus connus, nous pouvons citer UAM IV et UAM V (EPA), CAMx (Environ) et CHIMERE (CNRS/LMD). Ce dernier est un modèle de simulation et de prévision de la pollution photo-



oxydante, dont l'originalité réside dans la simplification de sa formulation qui utilise les données météorologiques des grands centres de prévision (METEO-France, CEPMMT, NCEP). Les champs fournis par un tel modèle sont souvent utilisés pour fournir les conditions aux limites des modèles de résolution supérieure.

L'objectif de cette modélisation portant essentiellement porté sur la description de l'ozone troposphérique, les modèles comportent généralement un module de chimie atmosphérique pour simuler la photochimie. Une telle étude réalisée en collaboration avec l'ASCOPARG sur la région de Grenoble ([4] [5]) illustre bien l'imbrication de domaines de différentes tailles. Le grand domaine est un carré de 240 km de côté avec une résolution de 6 km ; le domaine d'étude proprement dit est un rectangle de 78 km sur 68 km avec une résolution de 2 km (figure 1). Les simulations effectuées sur les deux domaines sont effectuées avec le modèle MetPhoMod (Université de Bern, EPFL). C'est un modèle eulérien tridimensionnel de simulation de nuage photochimique. Adapté pour les simulations à méso-échelle (domaine de calcul de 50 km à 400 km), il utilise une grille cartésienne avec un système de coordonnées rectangulaires. Avec cette structure de grille, la plupart des paramètres physiques sont stockés au centre de la cellule. Seuls les paramètres de turbulence et les flux sont stockés sur les faces des cellules. Des zones rurales étant intégrées dans le petit domaine, il sera intéressant de consulter les résultats qui ne sont pas disponibles pour l'instant.

MetPhoMod a également été appliqué sur le plateau suisse (sur un domaine de 200 km sur 90 km avec une résolution de 2 km) et les résultats furent comparés aux mesures effectuées du 29 au 30 juillet 1993 ([6]). Les résultats obtenus pour les concentrations en NO et NO<sub>2</sub> sont en accord avec celles mesurées, spécialement pour les zones éloignées des sources majeures.



*Figure 1 : Grand domaine et petit domaine de simulation*

- Ces deux exemples d'application sont représentatifs des travaux de modélisation menés actuellement. La modélisation en zone rurale sous l'influence d'agglomération n'est pas encore traitée et le travail que nous réalisons devrait permettre d'appréhender les contraintes opérationnelles de ce type d'application.

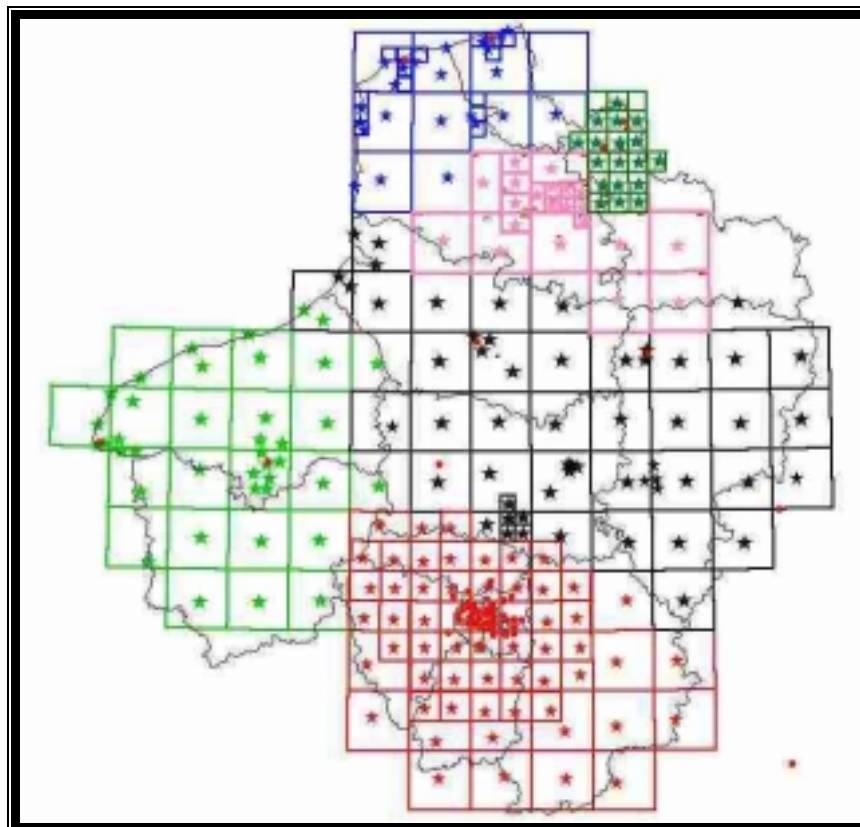
## II.2) Le domaine d'étude

Le domaine recherché doit remplir plusieurs conditions : il doit s'agir d'une zone rurale influencée plane, la présence de relief compliquant considérablement la prise en compte de la dynamique atmosphérique. Nous devons également nous assurer de la disponibilité d'un inventaire des émissions, de données météorologiques et de la possibilité de mener une campagne de mesure par échantillonnage passif en collaboration avec une ou plusieurs Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air. C'est pour ces raisons que nous avons tout intérêt à chercher un domaine étudié par une A.A.S.Q.A..

- Les campagnes de mesure en zone rurale sont rares. Parmi les documents obtenus directement auprès des A.A.S.Q.A. ou réunis par le Groupe de Travail "Echantillonneurs passifs", quelques études réalisées par des associations sont susceptibles de nous intéresser :
- Air Languedoc-Roussillon a mis en place en 1999 dans le cadre du PRQA un programme d'étude sur les régions de Béziers et Narbonne. Ce programme met en oeuvre l'ensemble des moyens d'étude AIR LR (cartographie théorique, modélisation informatique, échantillonneurs passifs, stations mobiles). Il vise à évaluer la qualité de l'air ambiant de la ville d'une part, et la pollution photochimique depuis le littoral jusqu'à l'arrière pays d'autre part.
- Atmosf'air a réalisé des campagnes NO<sub>2</sub> par échantillonnage passif sur Dijon durant l'hiver 1998-99 et sur Beaune durant l'hiver 1998 et l'été 1999. Les sites d'échantillonnage sont de nature urbaine et périurbaine.
- Atmo Champagne Ardenne a réalisé une étude par échantillonnage passif à l'échelle régionale pour le dioxyde d'azote, durant l'hiver et l'été 2000. 250 tubes ont été installés sur 222 sites dont certains sites ruraux.
- Atmo Auvergne a réalisé une étude par échantillonnage passif en NO<sub>2</sub> sur le Bassin d'Aurillac durant l'hiver 1995-96. Les sites sont de nature urbaine et rurale.
- Air com a réalisé une étude similaire dans le Calvados de janvier à août 1998.
- L'air des 2 Savoie a réalisé une étude par échantillonnage passif sur Thonon-les-Bains durant l'été 1999, avec des sites périurbains situés entre Thonon et Evian.
- Asquadra a réalise en été 2001 et en prévision pendant l'hiver 2001-2002, une étude sur les grandes agglomérations de Drôme-Ardèche avec des communes de moins de 5000 habitants.
- ASPA réalise des études sur des zones rurales mais à topographie complexe, que l'on exclue dans le cadre de notre étude.

Notre attention s'est surtout portée sur deux domaines : les régions du nord ouest de la France, et la région Centre.

- Le principal avantage du premier domaine est l'existence d'une campagne multi-régionale de mesure de l'ozone et du dioxyde d'azote par échantillonnage passif. Cette étude d'une durée de 10 semaines (26 juin — 4 septembre 2000) a été menée en partenariat entre les réseaux Airparif, Atmo Picardie, Air Normand, Arema LM, Aremartois et Opal'air. Afin de réaliser cette campagne, il a été défini un maillage de la zone d'étude avec principalement des mailles de 25 km de côté dont la taille est réduite là où un fort gradient de concentration en polluant est attendu. 230 sites ont été définis et classés en 4 catégories : urbain, périurbain, rural et littoral (figure 2).



*Figure 2 : Domaine d'étude de la campagne multi-régionale*

- Le second domaine a l'avantage, d'une part d'avoir une situation géographique idéale pour subir l'influence des émissions de la région parisienne et orléanaise, et d'autre part de faire actuellement l'objet de nombreuses études effectuées par Lig'air. En effet, dans le cadre du Plan Régional pour la Qualité de l'Air, la région Centre doit étendre sa couverture de surveillance. Il incombe notamment à Lig'air de réaliser un cadastre des émissions et de compléter la couverture par des sites fixes de types ruraux. Lig'air est donc amené à réaliser des campagnes de mesure pour rechercher des sites pour station fixe. Des mesures ont déjà été réalisées sur Orléans, Oysonville, Pithiviers, Voves, Vierzon, Etrechy, Dreux, Chartres, Montlargis, Rosnay (zone rurale), Richelieu, Châteauroux, Azy (zone rurale), Tours et Vendôme.
- De nombreuses raisons, et principalement la réalisation par Lig'air d'un inventaire des émissions, ont motivé notre choix pour la région Centre, plus précisément pour le secteur Chartres-Etampes-Châteaudun, situé au nord ouest d'Orléans:
- La région Centre est un vaste territoire assez peu peuplé avec une densité de population de 62 habitants au km<sup>2</sup>, inférieure de presque moitié à la moyenne nationale. Ses 1842 communes comprennent 1590 communes rurales et seulement 32 communes de plus de 10000 habitants. L'agriculture occupe une place très importante en utilisant 62 % de la superficie totale de la région, la forêt représentant pour sa part 23 %. Les principaux polluants émis dans la région sont le SO<sub>2</sub> et les NOx. 71 émetteurs sont soumis à la Taxe Générale sur les Activités Polluantes. La région Centre ne compte qu'une source ponctuelle classée dans les 75 premiers émetteurs en France et l'industrie lourde (raffineries, centrales thermiques) y est quasi absente.

Dans le cadre d'études visant à déterminer l'existence d'un impact des éléments polluants sur le comportement du « temps », Météo France fut amené à s'intéresser à l'impact de la bulle de pollution primaire parisienne (NOx) sur les concentrations en ozone dans un rayon de 300 km. Les résultats ont montré à l'évidence l'impact de la région parisienne sur la concentration en ozone dans la région Centre. Certes, la pollution en ozone n'est pas notre préoccupation dans le cadre de cette étude, mais ces résultats nous confirment clairement le caractère « influencé » du domaine choisi, d'autant que les niveaux d'ozone les plus élevés sont observés principalement lorsque les masses d'air sont originaires des secteurs nord à est.

Ces observations confirment clairement le caractère rural et influencé du domaine choisi.

- Lig'air, en plus de son expérience au sein de la région, nous apportera sa collaboration à d'éventuelles campagnes de mesure par échantillonnage passif. D'autre part, le réseau réalise actuellement un inventaire des émissions qui pourra nous servir de données d'entrée pour les simulations.

### II.3) Le modèle

Le cadre de l'étude vise à estimer un taux moyen de pollution sur une zone donnée, et non à traiter un épisode de pollution éphémère (comme lors d'un rejet accidentel) ou un phénomène localisé (comme le comportement d'un panache à la sortie d'une cheminée industrielle) : c'est la raison pour laquelle un modèle eulérien est somme toute bien adapté à notre étude, d'autant plus que les émissions industrielles étant peu nombreuses, la majorité des sources à prendre en compte sont linéaires ou surfaciques. Les modèles eulériens reposent sur une approximation tridimensionnelle des équations de la mécanique des fluides (équation de Navier-Stokes) pour la partie dynamique et de l'équation de conservation de la masse pour la dispersion des polluants. Le maillage tridimensionnel peut se composer de parallélépipèdes de même taille ou de tailles différentes (maillage structuré), ou d'autres éléments disposés de façon non régulière, tels que des tétraèdres (maillage non structuré). Les équations sont intégrées numériquement sur ce maillage, de façon à calculer une valeur numérique de chaque variable intégrée (vitesse, température, turbulence, concentration...) en chaque sommet ou centre de maille. Des techniques numériques souvent très élaborées permettent d'aboutir à la solution recherchée par des processus itératifs. Les modèles tridimensionnels eulériens peuvent réaliser des simulations de très grande qualité, s'ils sont utilisés convenablement : qualité du maillage, ajustement des paramètres numériques, qualité des données d'entrée.

Nous avons choisi le modèle TRANSCHIM-R (Coria UMR 6614, INSA de Rouen). C'est un code 3D eulérien de transport-dispersion. Il a les avantages suivants :

- C'est un code universitaire, par conséquent facilement modifiable pour le rendre applicable à notre étude.
- La résolution numérique des équations de transport utilise un maillage horizontal et vertical cartésien qui peut être raffiné localement dans les trois dimensions. Les principes généraux de la méthode de résolution sont identiques à ceux qui sont utilisés dans le code TRANSCHIM-1 du modèle de transport eulérien SUBMESO.
- La chimie gazeuse peut éventuellement être activée. Elle est basée sur le système réactionnel MOCA. Ce dernier peut être utilisé dans sa version intégrale

ou simplifiée en sélectionnant le nombre d'espèces et de réactions que l'on souhaite prendre en compte.

- TRANSCHIM a été écrit en grande partie par Yann C. FRAIGNEAU [7] dans le cadre de sa thèse. L'étude réalisée se présentait alors comme une première approche dans le domaine de la pollution photooxydante, les simulations ayant été effectuées sous des conditions relevant plus d'une situation académique que d'un cas typiquement réaliste. Notamment, les calculs ont été réalisés en 2D (plan médian) et la Couche Limite Atmosphérique avait été supposée horizontalement homogène. L'objectif du travail se présentait sous un aspect descriptif, cherchant à mettre en évidence un certain nombre de facteurs conditionnant l'évolution journalière de l'ozone (tels que la stabilité matinale de la CLA et la hauteur initiale de la couche d'inversion synoptique) et les principaux mécanismes par lesquels ils s'exercent. L'influence des taux d'émissions anthropogéniques, et plus particulièrement l'impact d'une réduction des émissions de NO sur le comportement de l'ozone ont également été étudiés. Les dimensions du domaine de calcul s'étendaient sur une longueur de 75 km et une altitude d'environ 2 km. La longueur de la source d'émission de polluants composés essentiellement de NOx et de COV était fixée à 10 km. Les conditions météorologiques étaient du type anticyclonique. Les résultats ont montré une grande sensibilité de l'évolution diurne des champs de concentration d'ozone à l'évolution de la CLA, de part l'influence qu'elle exerce sur les phénomènes de transport. Quand aux conséquences provoquées par une réduction importante des émissions de NO (50%) sur l'évolution de l'ozone, les tendances de la modélisation ont montré qu'une réduction exclusive des émissions de NO limite effectivement la production d'ozone, mais peut conduire à un accroissement de la concentration d'ozone au proche aval du site urbain. Cet effet est associé à l'augmentation du rapport des concentrations COV/NOx au proche aval de l'agglomération, conséquence directe de la réduction des émissions de NO. Par comparaison avec des mesures sur différents sites, les résultats obtenus se sont avérés représentatifs de l'évolution diurne de l'ozone sous le vent d'une agglomération.

Dans le cadre de la thèse de Tovoarinjara RAJAONA [8], le modèle a été amélioré et a donné lieu à la version actuelle TRANSCHIM-R : se sont ajoutés à la version antérieure la résolution implicite des équations suivant la verticale, le maillage tridimensionnel et la décomposition du domaine. L'étude réalisée dans cette thèse constitue la première application du modèle à un scénario réaliste de pollution photochimique, à travers la simulation d'un scénario représentatif d'un épisode de pollution photochimique sur la région Ile-de-France, dans le cadre d'un exercice du programme PRIMEQUAL. Deux épisodes passés ont été considérés pour cet exercice de modélisation :

- l'épisode du 11 au 17 août 1997 où un dépassement du niveau d'information pour l'ozone a eu lieu,
- la période du 29 septembre au 1er octobre 1997 pendant laquelle un pic de pollution au dioxyde d'azote a eu lieu.

Les calculs ont été effectués sur un domaine de 150 x 150 km<sup>2</sup>.

Une première simulation avec un maillage uniforme et un inventaire d'émissions de base a été réalisée pour analyser si le modèle parvient à reproduire les

tendances observées à travers les mesures des différentes stations.

Les résultats obtenus dans les zones rurales ont montré des valeurs de concentrations en  $\text{NO}_2$  et leur évolution assez proches de celles mesurées. Les cartographies au sol en  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  et  $\text{O}_3$  ont permis d'observer le transport du panache urbain dans la zone en aval de la direction du vent. Les valeurs les plus fortes en  $\text{NO}$  et  $\text{NO}_2$  et les plus faibles en  $\text{O}_3$  ont été observées dans le panache et non dans la zone urbaine de Paris et sa petite couronne.

Une seconde simulation avec maillage et un inventaire localement raffinés à l'aide de la méthode de décomposition de domaine a été effectuée pour analyser l'influence de la résolution spatiale sur les résultats du modèle. Le calcul de la dispersion de l'espèce inerte  $\text{NO}_2$  a ainsi été réalisé sur le domaine d'étude avec un raffinement du maillage et du cadastre d'émissions dans la zone de Paris et sa petite couronne. Les résultats ont montré que ce raffinement a notamment permis d'améliorer le calcul des concentrations dans le panache urbain qui a été transporté hors de la zone raffinée.

### **III) MISE EN PLACE DES OUTILS DE MODELISATION**

Des modifications sont à apporter au modèle avant de pouvoir commencer des simulations sur le domaine.

- Modification de la prise en compte de la météorologie: en effet, la prise en compte de la météorologie a une part importante dans les modèles régionaux. Ils doivent décrire le passage de grandes perturbations et fronts météorologiques. La description de ces phénomènes d'influences globales demande l'utilisation de modèles météorologiques très lourds et très complexes. Les modèles de dispersion à l'échelle régionale utilisent généralement des données qui proviennent de ces codes météorologiques en les interpolant sur le domaine de calcul. Ces données proviennent en général de modèles de prévision météorologiques à grande échelle. En France, elles proviennent soit du modèle européen de l'ECMWF (European Center of Medium Scale Weather Forecast), soit de Météo France, à partir des modèles ARPEGE et ALADIN. Pour notre part, nous avons choisi d'alimenter le modèle par des données issues du modèle météorologique ALADIN. Les différentes variables météorologiques issues d'Aladin sont disponibles toutes les 3 heures selon des profils verticaux bien déterminés et sur une grille régulière correspondant à une résolution d'environ 10 km. Nous avons donc programmé une interface qui lit des fichiers ALADIN, puis interpole les données sur tout le maillage de TRANSCHIM-R : interpolation verticale dans un premier temps, puis interpolation horizontale pour chaque niveau d'altitude du modèle.
- Modification de la dynamique de l'atmosphère : à partir des données météorologiques obtenues, des estimations théoriques sont utilisées pour calculer les coefficients de diffusion turbulente. Nous avons choisi d'utiliser la formulation de Louis [9], qui permet de calculer le coefficient vertical de dispersion turbulente à partir des profils verticaux de vent et de température.
- Restructuration de la prise en compte des sources ponctuelles et de l'interface avec un inventaire des émissions.
- Mise en place éventuelle d'une chimie simplifiée.

- Prise en compte des conditions limites du domaine: plutôt que d'intégrer l'agglomération parisienne et orléanaise dans le domaine, nous avons préféré exclure du domaine les agglomérations les plus importantes. En effet, il nous semble préférable de répondre aux préoccupations de la modélisation en zone rurale en essayant de traduire le caractère influencé du domaine par l'intermédiaire des conditions limites. C'est dans ce sens que nous pensons utiliser des champs fournis par CHIMERE pour alimenter les conditions limites du modèle. Cette méthode devrait permettre de bien prendre en compte le flux de polluants provenant des régions parisienne et orléanaise.

#### **IV) MISE EN APPLICATION DU MODELE SUR LE DOMAINE D'ETUDE**

Les principales villes présentes sur le domaine sont Chartres, Etampes et Châteaudun (figure 3). Les sources de polluants situées sur le domaine de simulation (figure 3) vont être prises en compte par l'intermédiaire des inventaires des émissions réalisés par Lig'air (Partie B) et Airparif.

- Dans un premier temps, le modèle va être appliqué sur une période de 14 jours, correspondant à celle d'une campagne de mesure par échantillonnage passif. Cette campagne, qui doit avoir lieu au Printemps 2002, devrait permettre de comparer les résultats des mesures à ceux de la modélisation et de caler le modèle.

La simulation sera classique. Nous entendons par là que nous simulerons réellement les 14 jours, avec les données météorologiques et les conditions limites prises en compte sur toute la période considérée.

Les données d'entrée seront les suivantes :

- des données météorologiques issues du modèle météorologique de Météo France ALADIN sur la période considérée
- des données d'émissions de polluants issues d'inventaires réalisés par Lig'air et Airparif
- des concentrations en polluants aux limites du domaine, qui devraient être issues du modèle CHIMERE appliqué sur la région Centre par Lig'air sur la période considérée

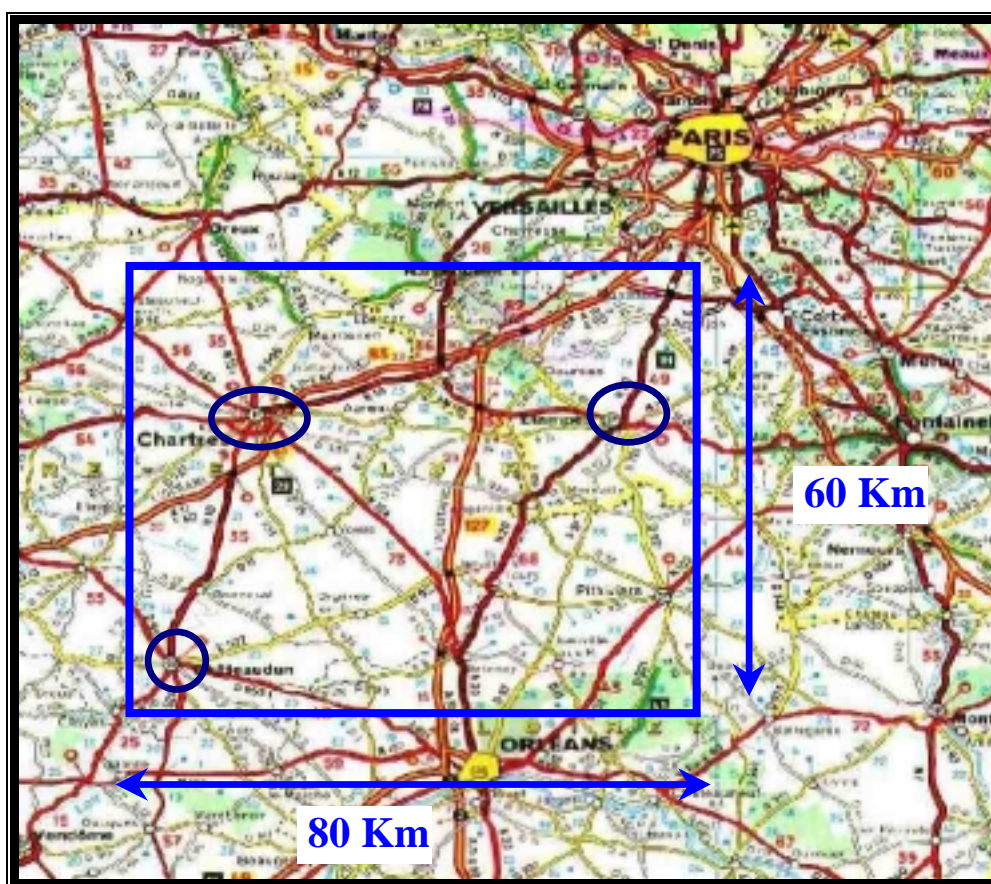
La campagne de mesure sera menée en collaboration avec Lig'air et aura lieu au printemps 2002. Une centaine de tubes au minimum seront réparties sur le domaine. Une première ébauche du plan d'échantillonnage donne lieu à un maillage principal de 75 cellules de 8 km sur 8 km. Un raffinement du maillage sera effectué au niveau des grandes sources ponctuelles et des grandes densités de trafic automobile.

Une deuxième campagne de mesure sera éventuellement programmée pour l'hiver 2002.

- Dans un deuxième temps, nous chercherons à calculer des concentrations mensuelles et annuelles en dioxyde d'azote. Face au grand nombre de données et au temps de calcul importants nécessaires à des simulations de plusieurs semaines, nous chercherons à synthétiser les données d'entrée, faisant en sorte qu'elles restent représentatives de la période sur laquelle nous cherchons à calculer les concentrations moyennes. On se dirige donc vers l'utilisation d'une météorologie synthétique du type 'rose des vents', et à des conditions limites moyennes issues du modèle CHIMERE.



Le modèle sera appliqué pour chacun des secteurs de vent, les concentrations correspondantes pondérées par la fréquence d'occurrence des secteurs du vent. On obtiendra ainsi une concentration moyennée suivant les directions du vent. Ce type d'application en modélisation devrait permettre de mettre au point une méthodologie spécifique.



*Figure 3 : Le domaine d'étude*

## **PARTIE B : DESCRIPTION DU DOMAINE DE SIMULATION**

### **I) L'INVENTAIRE DES EMISSIONS SUR LA REGION CENTRE**

Un inventaire des émissions de polluants sur la région Centre pendant l'année 1999 est actuellement mené par Lig'air. Les premiers résultats ont déjà fait l'objet d'un rapport [10].

Cet inventaire prend en compte les polluants primaires (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COV, CO<sub>2</sub>, Particules, métaux lourds, produits phytosanitaires...) rejetés par les différentes sources, c'est-à-dire le transport routier et non routier, les industries, le secteur résidentiel et tertiaire, et les émissions naturelles.

Les principes méthodologiques utilisés sont présentés dans cette partie, les cartographies des émissions sont en annexes.

#### **I.1) Principes méthodologiques**

##### **I.1.1) Nomenclatures des sources émettrices**

Les activités anthropiques ou naturelles à l'origine des rejets de diverses substances dans l'atmosphère sont identifiées dans une nomenclature de référence appelée SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution).

Actuellement, la nomenclature utilisée est la SNAP 97. Elle présente une liste détaillée d'activités, structurée en trois niveaux. Pour les inventaires relatifs à la France, on dénombre de l'ordre de 500 activités élémentaires.

Le premier niveau comporte 11 activités, qui sont présentées dans le tableau 1.

Les sources biogéniques sont répertoriées dans la catégorie « autres sources et puits »

<b>01</b>	<b>Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie</b>
<b>02</b>	<b>Combustion hors industrie</b>
<b>03</b>	<b>Combustion dans l'industrie manufacturière</b>
<b>04</b>	<b>Procédés de production</b>
<b>05</b>	<b>Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique</b>
<b>06</b>	<b>Utilisation de solvants et autres produits</b>
<b>07</b>	<b>Transport routier</b>
<b>08</b>	<b>Autres sources mobiles et machines</b>
<b>09</b>	<b>Traitement et élimination des déchets</b>
<b>10</b>	<b>Agriculture et sylviculture</b>
<b>11</b>	<b>Autres sources et puits</b>

*Tableau 1 : Premier niveau de la nomenclature SNAP [11]*

##### **I.1.2) Types de sources [12]**

Plusieurs catégories de sources de rejets atmosphériques sont considérées par la méthodologie d'inventaire :

###### ***Sources Ponctuelles***

Une source ponctuelle correspond typiquement à une installation fixe telle qu'une usine.

- *Sources Linéaires*

Elles sont essentiellement constituées par les principaux axes de communication (routier, fluvial, maritime, etc.). Elles sont donc le plus souvent relatives aux sources mobiles et occasionnellement aux sources fixes (gazoduc, oléoduc, etc.).

- *Grandes Sources Ponctuelles (GSP)*

Il s'agit des sources fixes dont les rejets potentiels ou effectifs dans l'atmosphère dépassent un certain seuil.

- *Grandes Sources Linéaires (GSL)*

De manière analogue aux GSP, elles regroupent des tronçons de route à fort trafic dont les niveaux d'émissions sont comparables à ceux atteints par des émetteurs ponctuels (autoroute, route nationale, etc.).

- *Sources surfaciques (SUR)*

Cette catégorie couvre, d'une part, des sources fixes non incluses dans la catégorie des Grandes Sources Ponctuelles et, d'autre part, des sources fixes et mobiles non incluses dans les Grandes Sources Linéaires. On y trouve typiquement la circulation urbaine diffuse, l'habitat, les espaces cultivés, etc.

1.1.3) Principe de calcul des émissions

Les émissions sont estimées pour chacune des activités émettrices élémentaires retenues pour l'inventaire en considérant séparément s'il y a lieu les différentes catégories de sources (surfaciques...).

Les émissions d'une activité donnée sont exprimées par la formule générale et schématique suivante :

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} \times F_{s,a} \quad [12]$$

Avec :

E : Emission relative à la substance « s » et à l'activité « a » pendant le temps « t »  
(en kg par unité de temps)

A : Quantité d'activité relative à l'activité « a » pendant le temps « t »  
(en Joule par unité de temps)

F : Facteur d'émission relatif à la substance « s » et à l'activité « a »  
(en kg par Joule)

Pour l'ensemble des activités, les émissions totales sont exprimées par la formule suivante :

$$E_{s,t} = \sum_{a=1}^{a=n} E_{s,a,t} \quad [12]$$

Avec :

n : Nombre d'activités émettrices prises en compte

Les termes  $A_{a,t}$  et  $F_{s,a}$  sont en fait déterminés pour des combinaisons plus fines de l'activité associant de manière générale une opération, une technologie et un produit. Dans certains cas, les émissions présentent des relations complexes avec de nombreux paramètres, et il est alors nécessaire de recourir à des modèles spécifiques pour obtenir une bonne représentation des phénomènes. C'est le cas pour le calcul des émissions du trafic routier, qui requiert l'utilisation d'un modèle.

## I.2) Emissions du secteur résidentiel

Au niveau du logement, l'énergie est utilisée à 4 niveaux :

- le chauffage
- l'eau chaude sanitaire (ECS)
- la cuisson
- les usages standard de l'électricité (éclairage, électroménager)

Les deux premiers représentent plus des trois quarts de l'énergie consommée dans un logement. Il s'agit donc de calculer les consommations d'énergie du chauffage et de l'ECS à partir desquelles les émissions de polluants pourront être déterminées.

Pour cela, un certain nombre de données sont nécessaires. En effet, il faut :

- connaître le parc de logement de la région c'est-à-dire le nombre de pavillons et d'habitations collectives sur la région par commune.
- la date de construction de ces logements (suivant la date de construction, l'isolation ne sera pas la même et donc la consommation énergétique sera différente).
- le mode de chauffage utilisé (les polluants émis seront différents suivant le type de chauffage utilisé).

### I.2.1) Les données primaires

- Les données du parc de logement et du mode de chauffage proviennent d'une base de données de l'INSEE appelée « Détails...Logements ». Les types de logements pris en compte sont les maisons individuelles et les logements collectifs utilisés en tant que résidence principale. A ces derniers ont été rajoutées les maisons individuelles utilisées en tant que résidence secondaire car elles constituent 10% du parc de maisons individuelles en région Centre.
- Les consommations d'énergie sont données par les fiches énergétiques de l'ADEME réalisées en 1990 et 1991 après la troisième réglementation thermique de 1989. Ces fiches donnent les consommations énergétiques types pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.
- Les émissions de polluants sont obtenues grâce aux facteurs d'émission issus de la littérature, donnés en fonction du type de combustible utilisé et de l'énergie consommée.

### 1.2.2) Présentation schématique de la méthode de calcul des consommations énergétiques et des émissions

✓ Méthode pour le calcul des émissions dues au chauffage.

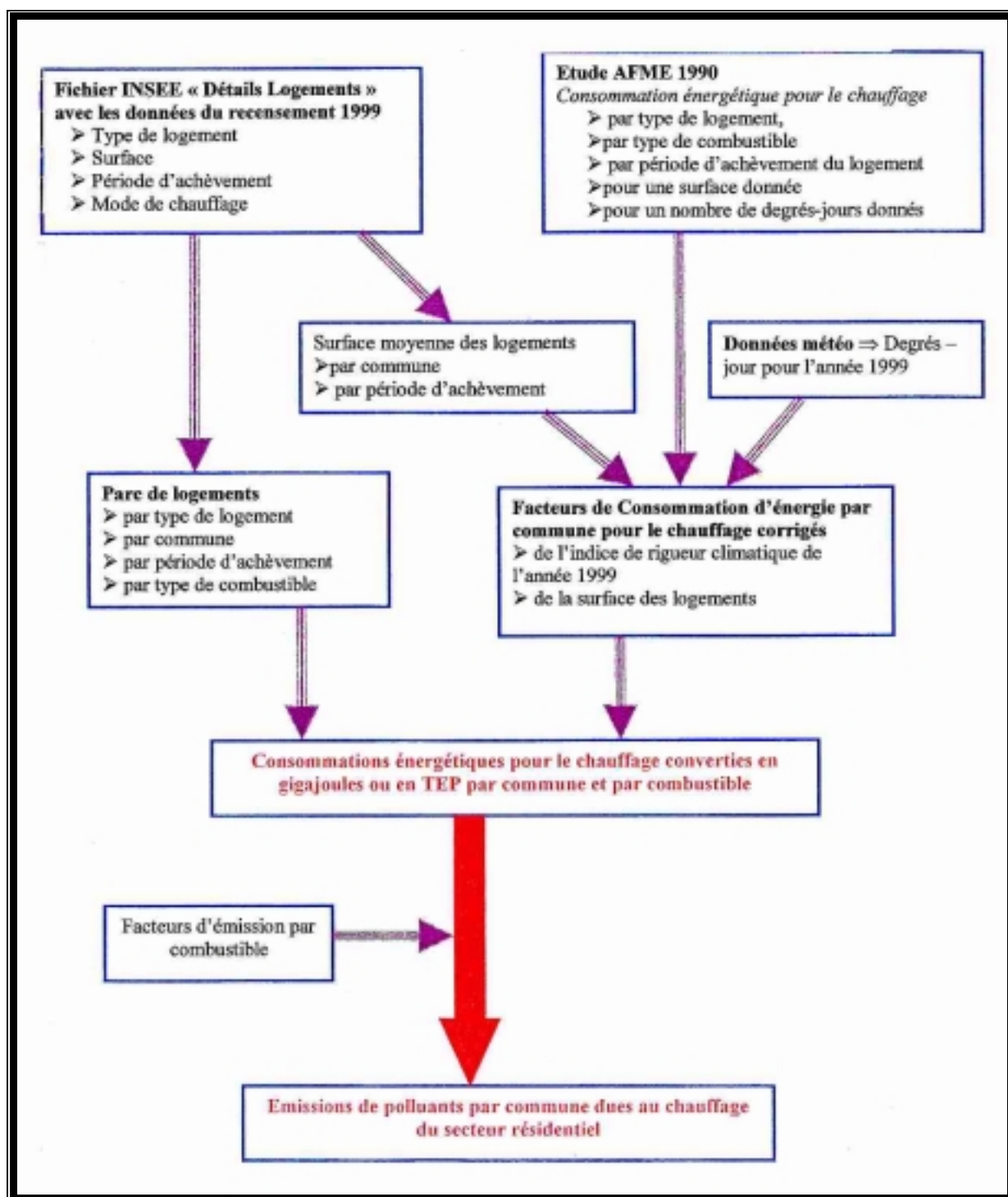
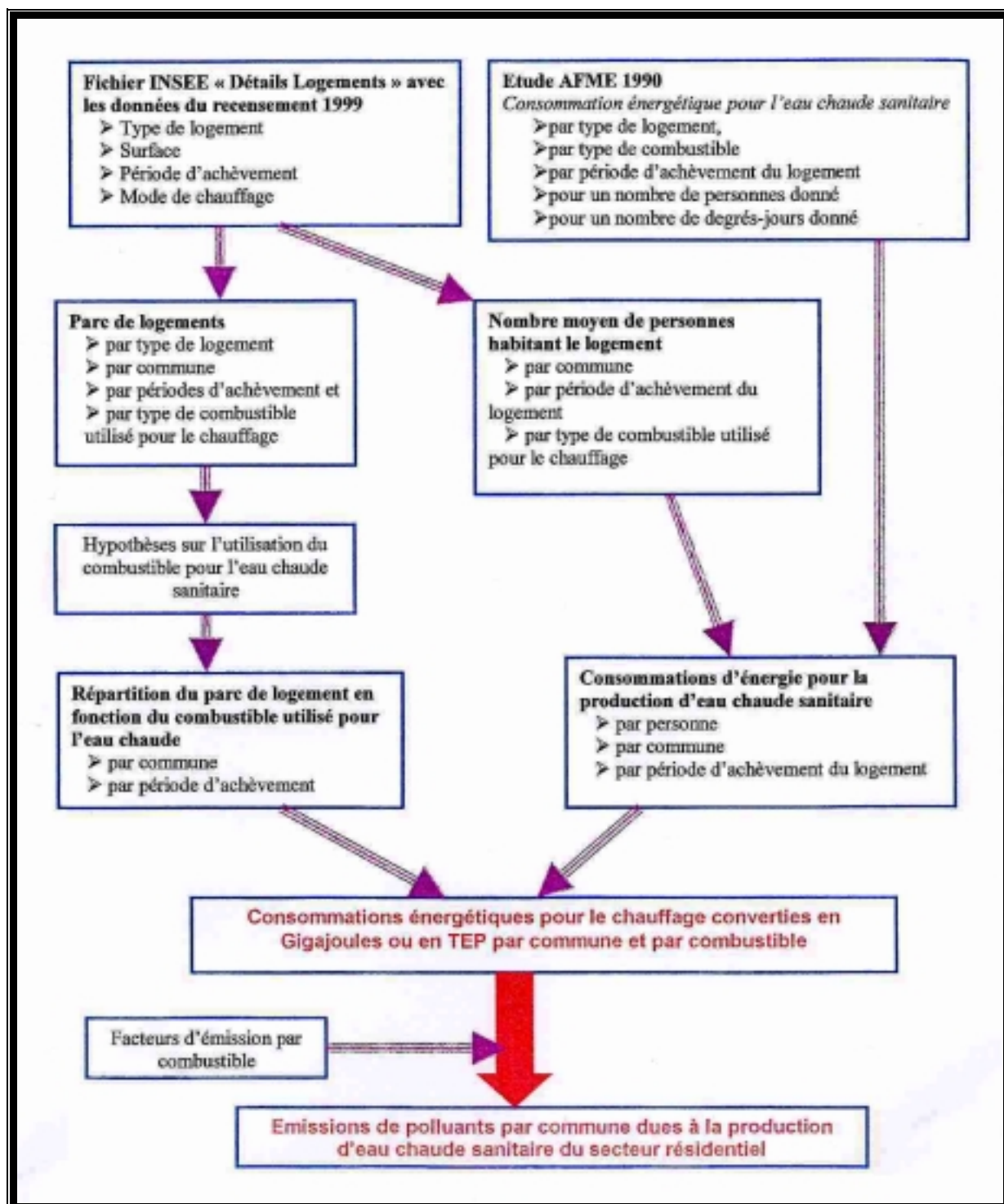


Figure 4 : Méthode pour le calcul des émissions dues au chauffage [10]

✓ *Méthode pour le calcul des émissions dues à l'ECS*



*Figure 5 : Méthode pour le calcul des émissions dues à l'ESC [10]*

### ✓ *Cartographies des émissions de polluants du secteur résidentiel par commune*

La répartition géographique des émissions de NO<sub>x</sub> et COV issues du secteur résidentiel en région Centre (année 1999) sont disponibles en annexe 1 et 2.

### I.3) Emissions du transport routier

Les émissions sur les autoroutes, les nationales et les départementales du Loir-et-cher ont déjà été quantifiées. Il reste à estimer celles sur les départementales des autres départements ainsi que les émissions « urbaines », c'est-à-dire sur les axes en agglomération.

#### I.3.1) Calcul des émissions

Les émissions totales sont obtenues en sommant :

- Les émissions à chaud : lorsque le moteur a atteint sa température de fonctionnement stable et que, parallèlement, le catalyseur a atteint sa température optimale de fonctionnement .
- Les émissions à froid : pour la majorité des polluants, on observe une forte surémission pendant la phase de mise en température dite à froid.
- Les émissions de COVNM dues à l'évaporation d'essence. Elles concernent uniquement les véhicules essence.

#### I.3.2) Méthodologie utilisée

La méthodologie utilisée est basée sur le logiciel COPERT III.

Il permet de calculer les émissions de CO, NO<sub>x</sub>, COV, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, particules, HAP, POP, dioxines et furannes, et métaux lourds présents dans les carburants. Concernant les COV, le logiciel distingue les alcanes, les alcènes, les aldéhydes, les cétones et les aromatiques.

Pour faire fonctionner le logiciel, un certain nombre de données sont nécessaires, dont les principales sont :

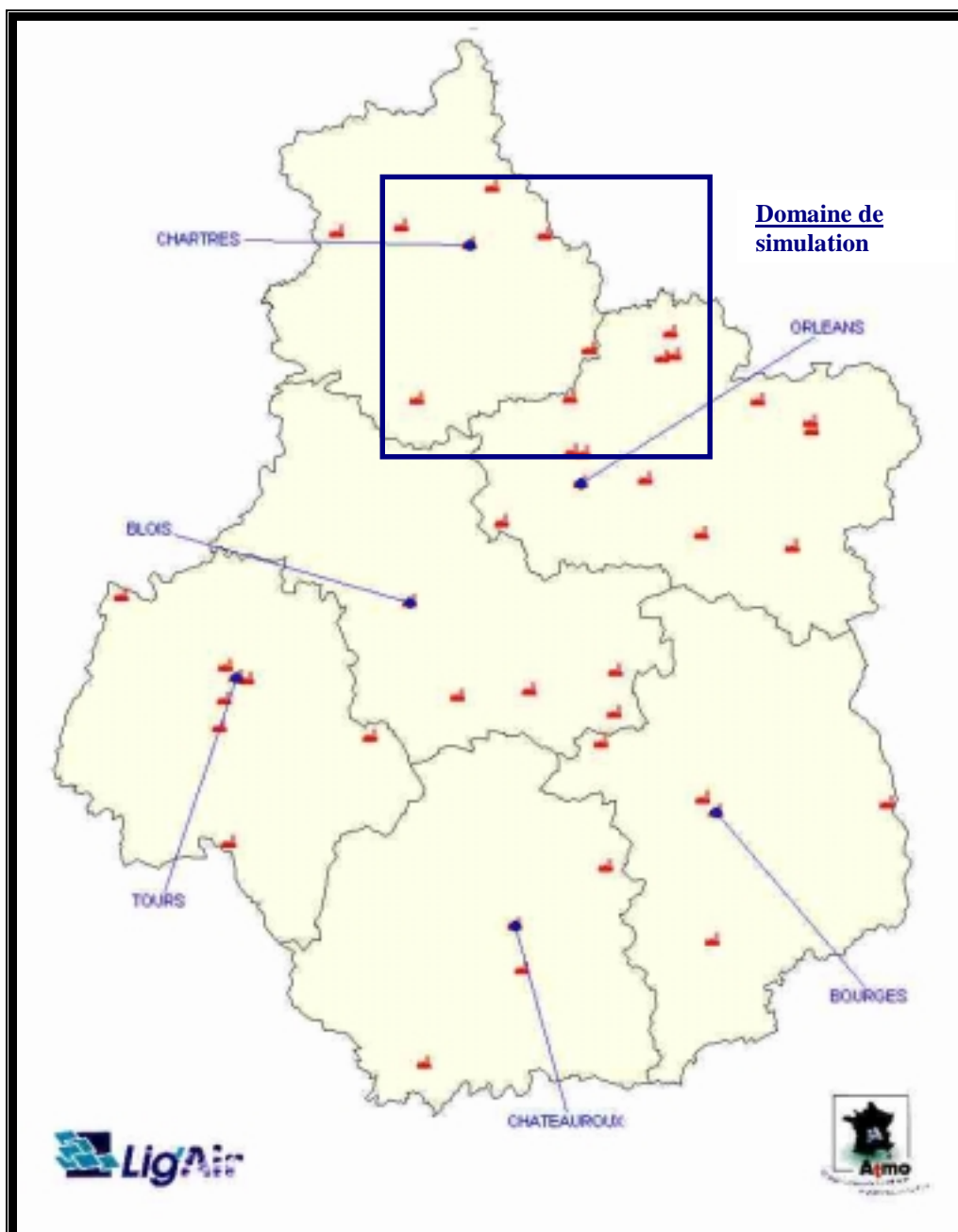
- La connaissance de la structure fine du parc automobile roulant par type et classe de véhicules :
  - La répartition du parc automobile par catégorie de véhicules : véhicules particuliers, véhicules légers...
  - La répartition du parc automobile par carburant (essence, diesel),
  - La répartition du parc automobile par année de construction,
  - La répartition du parc automobile par cylindrée.
- Les températures mensuelles de l'année de référence afin de pouvoir calculer les surestimations à froid
- La composition de l'essence : teneur en soufre
- La vitesse moyenne par catégorie de véhicules sur le tronçon considéré (autoroute, nationale, ville).

### I.3.3) Cartographies des émissions de NO<sub>x</sub> et COV sur les autoroutes et nationales de la région Centre (1999)

Les cartographies sont disponibles en annexe 3, 4, 5 et 6.

### I.4) Le secteur industriel

Les émissions des industries soumises à TGAP sont en cours d'acquisition. La répartition des émetteurs est représentée sur la figure 6.



*Figure 6 : Industries soumises à la TGAP en 1999 sur la région Centre [10]*



### I.5) Les sources biogéniques

Les sources biogéniques sont également en cours d'acquisition

### I.6) Le secteur tertiaire

Les émissions de ce secteur sont en cours d'évaluation.

Pour faciliter le calcul, le CEREN (Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie) a divisé ce secteur en 8 catégories (hors armée) qui sont :

- Cafés, hôtels, restaurants
- Bâtiments communautaires : foyers sociaux, maisons de retraite...
- Santé : hôpitaux, cliniques...
- Enseignement : écoles primaires, établissements d'enseignements secondaire et supérieur
- Locaux à usages sportifs et culturels
- Bureaux : administrations, bureaux privés...
- Commerces
- Transports : locaux chauffés des entreprises de transport

A partir du fichier SIRENE (base de données développée par l'INSEE qui enregistre l'état civil de toutes les entreprises et de tous les établissements implantés en France) complété par la liste des établissements de santé et scolaires, la localisation géographique et les effectifs de chaque entité constituant les 8 catégories pourront être connus. De plus, le CEREN connaît la consommation totale régionale d'énergie par combustible et par branche d'activité.

Le principe va être alors de déterminer des facteurs de consommation d'énergie individuels par combustible. On pourra ainsi connaître, par commune, les émissions dues au secteur tertiaire, en combinant les facteurs de consommation d'énergie individuels, les effectifs et les facteurs d'émissions en fonction du combustible.

### I.7) Le secteur agricole

Les émissions du secteur agricole vont être calculées à partir des données du recensement agricole 2000, disponible en fin d'année 2001.

Dans la nomenclature SNAP 97 [11], la catégorie « Agriculture et sylviculture » comprends des activités qui sont : la culture avec engrais, la culture sans engrais, l'écobuage (incinération de petits végétaux), la fermentation entérique, les composés organiques issus des déjections animales, l'utilisation de pesticides et de calcaire, les composés azotés issus des déjections animales.

D'autres activités en rapport avec ce secteur sont classées dans d'autres catégories : dans la catégorie « Combustion hors industrie » sont répertoriées les installations en relation avec l'agriculture, la sylviculture et l'aquaculture, tels que les installations de combustion, les turbines et les moteurs. Dans la catégorie « Autres sources mobiles et machines » sont répertoriées les engins spéciaux utilisés pour l'agriculture et la sylviculture. Enfin dans la catégorie « Traitement et élimination des déchets » sont répertoriées les feux ouverts de déchets agricoles.

## II) LA QUALITE DE L'AIR SUR LE DOMAINE DE SIMULATION

### II.1) Présentation générale

- Le domaine s'étend sur deux régions : la région Centre principalement et l'Île-de-France. Les départements concernés sont l'Eure-et-Loire (28), le Loiret (45), les Yvelines (78) et l'Essonne (91). L'association LIG'AIR couvre toute la région Centre tandis que AIRPARIF est chargé de la surveillance de l'Île-de-France.



*Figure 7 : Couverture du domaine par les A.A.S.Q.A.*

- La répartition des stations de mesure

Nous nous restreindrons aux stations de mesure de pollution de fond présentes sur le domaine et aux alentours.

- Liq'air :

*Eure-et-Loire* : - Deux stations urbaines, à Chartres (1) et à Lucé (2). Les polluants mesurés sont l'ozone, le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote.

- Une station rurale a été installée à Oysonville (Eure-et-Loire) (3). Les mesures devraient être effectives avant la fin de l'année 2001.

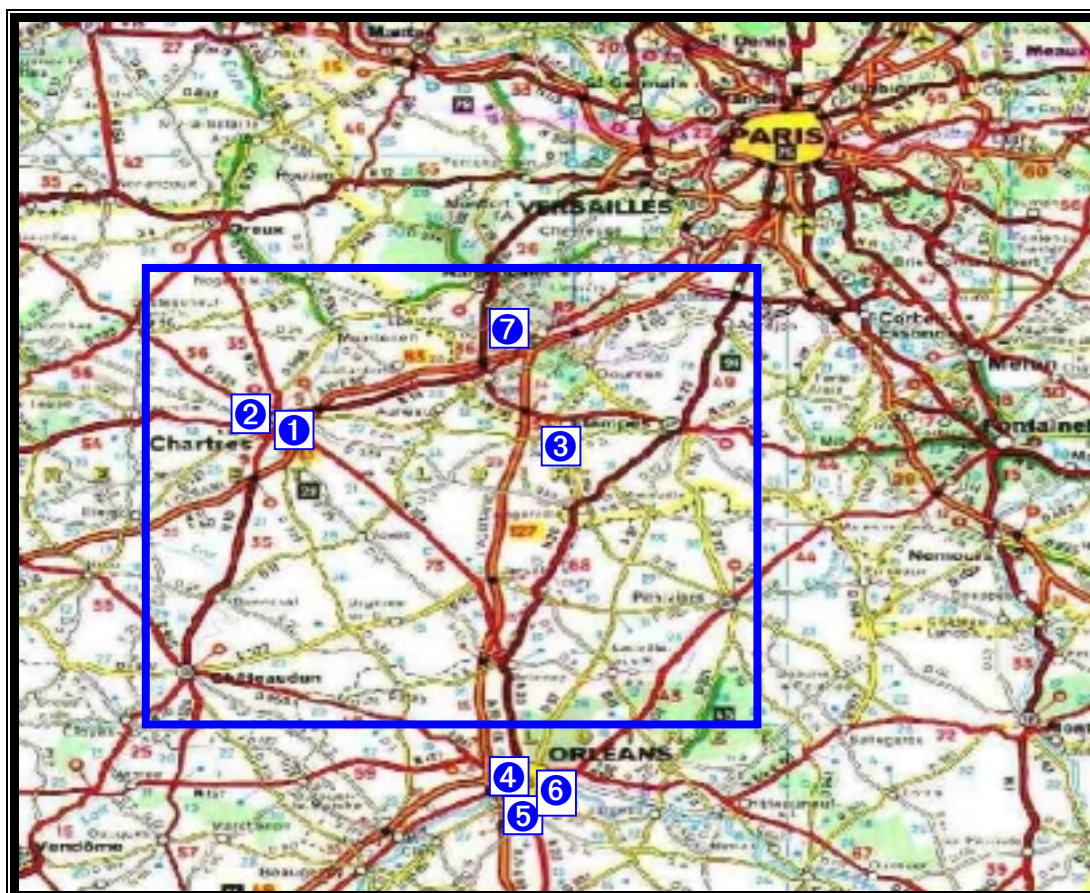
*Loiret* :

- Deux stations urbaines à Orléans (4,5). Les polluants mesurés sont l'ozone, le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et les particules en suspension.

- Une station périurbaine à Saint Jean de Braye (6). Les polluants mesurés sont l'ozone et les oxydes d'azote.

- Airparif :

*Yvelines* : Une station rurale à Sonchamp (7), au Sud-Ouest de la forêt de Rambouillet.



*Figure 8 : Répartition des stations de mesure*

## II.2) La qualité de l'air au nord de la région Centre

Les résultats proviennent du rapport d'activité 1999 de Lig'air [13] et années 2000 et de l'exploitation de mesures disponibles sur la Banque de Données de la Qualité de l'Air [14].

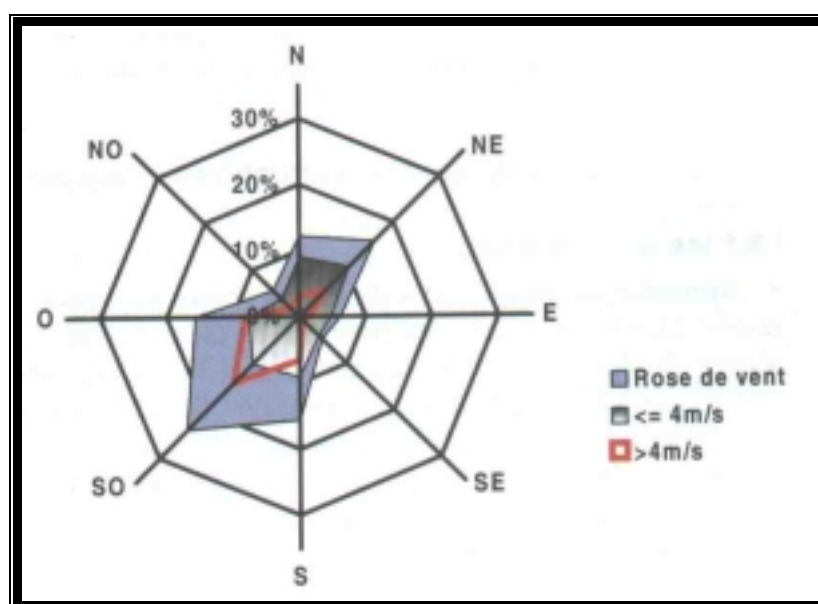
### II.2.1) Agglomération d'Orléans

#### ✓ *Les conditions météorologiques sur l'agglomération d'Orléans*

Les paramètres météorologiques sur l'agglomération d'Orléans, ont été enregistrés au nord de la ville d'Orléans sur le site Bricy par METEO FRANCE.

- La rose des vents sur l'agglomération orléanaise, ainsi que les fréquences d'apparition des classes de la vitesse du vent suivant chaque direction sont présentées sur la figure 9.

La forme 'allongée' de cette rose montre que les masses d'air arrivent, sur l'agglomération d'Orléans, principalement par deux secteurs : nord-est et sud-ouest. Les vents les plus forts (vitesse du vent  $> 4$  m/s) arrivent principalement par le secteur sud-ouest. Ce point est très intéressant, puisqu'il indique que la dispersion des polluants est plutôt favorisée lorsque les masses d'air atteignent l'agglomération orléanaise par le secteur sud-ouest (la vitesse du vent maximale annuelle en 1999, 94 km/h, a été enregistrée par ce secteur le 26/12/99).



*Figure 9 : Fréquence d'apparition des directions du vent ainsi que les classes du vent (année 1999) [13]*

- En ce qui concerne la température, elle a présenté une grande variation entre  $- 6$  °C (le 12/01/99 à 06h) et  $35$  °C ( le 25/08/99 à 13h00). La température moyenne mensuelle maximale ( $21$  °C) a été enregistrée durant le mois de juillet. Le mois de février a été le mois le plus froid de l'année 1999 avec une température moyenne de  $4$  °C.

Afin de mieux caractériser les masses d'air qui arrivent sur l'agglomération orléanaise, la figure 10 représente, d'une part les fréquences d'arrivée des masses d'air dont la température est  $>20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , et d'autre part celles des masses d'air dont la température est  $<20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

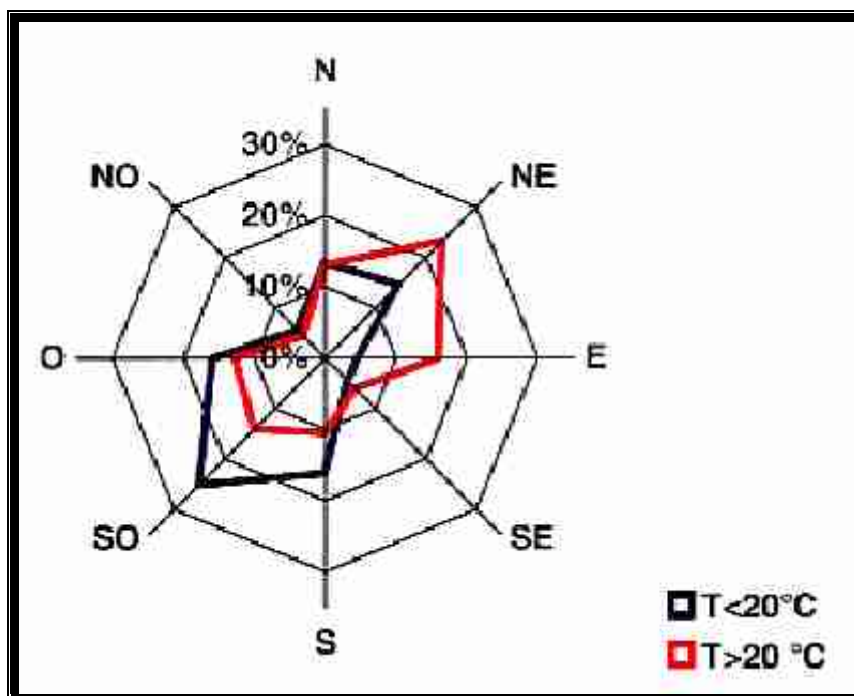


Figure 10 : Caractérisation des masses d'air suivant la température (année 1999) [13]

Les masses d'air plutôt froides arrivent sur l'agglomération orléanaise par le secteur sud-ouest, alors que les masses d'air dont la température dépasse les  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  arrivent plutôt par le secteur nord-est.

- Les masses d'air d'origine nord à est sont donc généralement caractérisées par des vents faibles et des températures relativement élevées. Ces conditions sont souvent favorables à l'accumulation des polluants aux réactions photochimiques lorsque l'ensoleillement est relativement fort. Ceci implique que les niveaux les plus élevés en ozone sont susceptibles d'être observés par les secteurs nord à est.
- Les masses d'air d'origine sud-ouest sont largement caractérisées par des vents relativement forts ce qui engendre une bonne dispersion des polluants.

✓ **Situation par rapport aux directives et aux recommandations**

- Les oxydes d'azote

Durant l'année 1999, aucun dépassement des directives européennes ou des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) n'a été observé pour le dioxyde d'azote sur l'agglomération d'Orléans (voir tableau 2).

		Station 4	Station 5	Critères nationaux de qualité de l'air		Directive Européenne 85/203/EEC	Recommandations de l'OMS
NO <sub>2</sub>	Moyenne journalière maximale	71 µg/m <sup>3</sup> le 22/01/99	70 µg/m <sup>3</sup> le 22/01/99				150 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 24 heures
	Moyenne horaire maximale	113 µg/m <sup>3</sup> le 28/03/99 à 21h	120 µg/m <sup>3</sup> le 28/03/99 à 21h	niveau d'information du public 200 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur une heure	niveau d'alerte 400 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur une heure		
	Percentile 50	22 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>			Percentile 50 valeur guide 50 µg/m <sup>3</sup>	
	Percentile 98	73 µg/m <sup>3</sup>	67 µg/m <sup>3</sup>			Percentile 98 valeur limite 200 µg/m <sup>3</sup>	
NO	Moyenne journalière maximale	84 µg/m <sup>3</sup> le 22/01/99	96 µg/m <sup>3</sup> le 22/01/99	pas concerné			
	Moyenne horaire maximale	246 µg/m <sup>3</sup> le 04/11/99 à 10h	360 µg/m <sup>3</sup> le 03/11/99 à 21h				
	Percentile 50	2 µg/m <sup>3</sup>	1 µg/m <sup>3</sup>				
	Percentile 98	59 µg/m <sup>3</sup>	41 µg/m <sup>3</sup>				

*Tableau 2 : Situation des oxydes d'azote par rapport aux directives et recommandations (année 1999) [13]*

● **L'ozone**

Contrairement aux oxydes d'azote, l'ozone est présent sur l'agglomération orléanaise à des concentrations relativement élevées, en particulier pendant la saison estivale, qui peuvent parfois dépasser les seuils des directives européennes et nationales, ainsi que les recommandations de l'OMS. En effet, durant l'année 1999, les concentrations en ozone sur l'agglomération orléanaise ont dépassé le seuil d'information de la population (180 µg/m<sup>3</sup>). Une première mise en alerte de la Préfecture du Loiret et une information de la population sur les risques sanitaires encourus ont été données le 30 juillet 1999. Les seuils de protection de la santé (110 µg/m<sup>3</sup> sur 8 heures) et de la végétation (65 µg/m<sup>3</sup> sur 24 heures) sont aussi fréquemment dépassés (voir tableau 3).

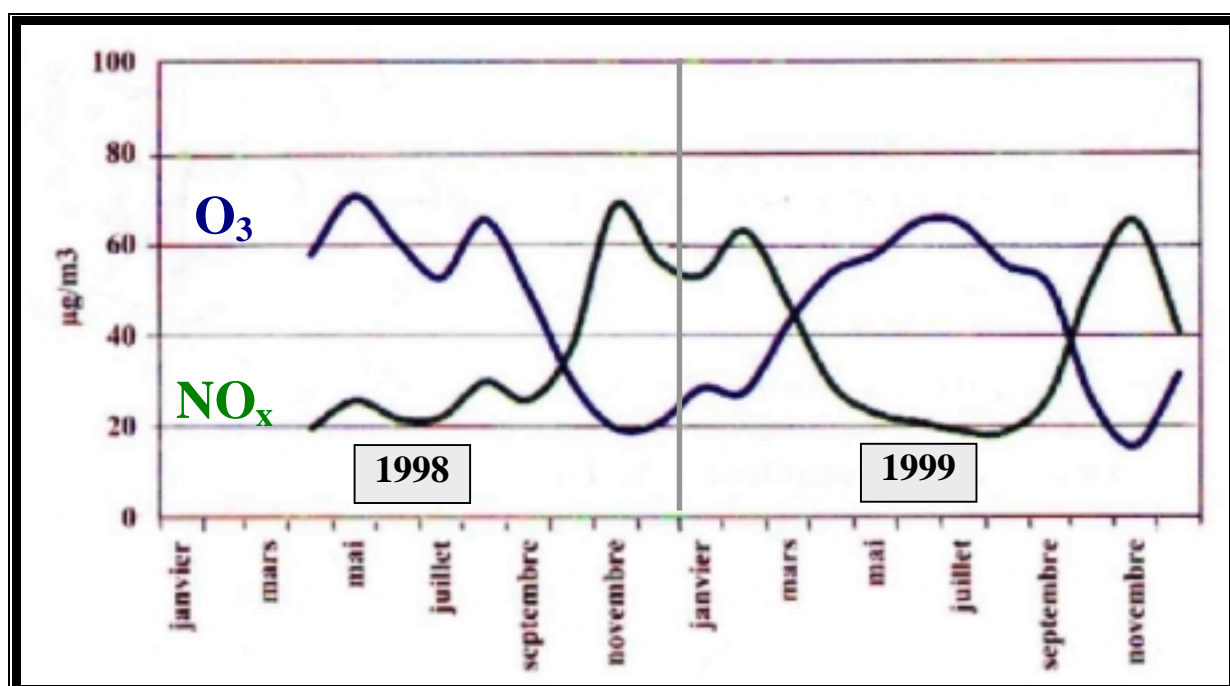
Stations	Station 4	Station 5	station 6	
Moyenne horaire maximale	170 µg/m <sup>3</sup> le 30/07/99 à 15h	203 µg/m <sup>3</sup> le 30/07/99 à 16h	193 µg/m <sup>3</sup> le 30/07/99 à 14h	Directive Européenne 92/72/CEE
Dépassements des normes Européennes	93	206	136	seuil de PROTECTION de la végétation 65 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 24 heures
	23	53	41	seuil pour la PROTECTION de la santé 110 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 8 heures
		1	1	seuil d'INFORMATION des populations sensibles 180 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 1 heure

*Tableau 3 : Situation de l'ozone par rapport aux directives et recommandations (année 1999) [13]*

✓ **Evolution temporelle des polluants**

- A l'échelle annuelle

Les concentrations en ozone et en oxydes d'azote présentent généralement un cycle saisonnier traduisant dans ses grandes lignes le cycle saisonnier annuel entre l'été et l'hiver. Sur la station 4 (voir figure 11), les concentrations les plus importantes en ozone sont observées pendant la saison estivale (avril - septembre), saison favorable aux transformations photochimiques. La saison hivernale est marquée par les niveaux d'ozone les plus faibles (octobre - mars), les processus de consommation et de dépôt d'ozone l'emportant sur sa formation. Contrairement à l'ozone, les oxydes d'azote marquent leur maximum annuel pendant la saison hivernale (saison caractérisée généralement par de fortes émissions en oxydes d'azote), alors que les faibles concentrations sont enregistrées plutôt durant la saison estivale (les émissions en oxydes d'azote diminuent pendant cette saison et leurs processus de consommation augmentent).



*Figure 11 : cycles annuels en O<sub>3</sub> et NO<sub>x</sub> sur la station 4 (1998 – 1999) [13]*

- A l'échelle journalière
- Les oxydes d'azote

Sur la figure 12 sont représentés les profils journaliers moyens des NO<sub>x</sub> relevés sur les deux stations urbaines de fond (stations 4 et 5) de l'agglomération orléanaise pour l'année 1999.

Les profils journaliers moyens des oxydes d'azote observés sur ces deux sites sont semblables à celui du trafic automobile caractérisé généralement par la présence de deux pics journaliers, l'un enregistré le matin et l'autre dans l'après-midi. Ceci indique que les concentrations en oxydes d'azote sur ces deux sites sont largement gouvernées par les émissions automobiles.

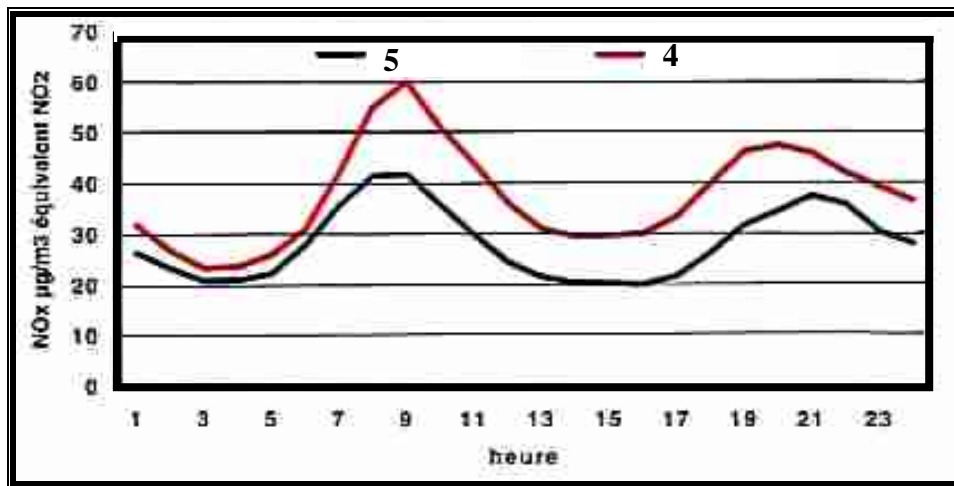


Figure 12 : Profils moyens journaliers de NOx relevés sur les stations 4 et 5 (année 1999) [13]

L'influence du trafic automobile sur les concentrations en oxydes d'azote est bien illustrée sur la figure 13, qui représente le profil moyen des NOx durant les jours ouvrés, ainsi que celui observé les samedis et les dimanches de l'année 1999. Les concentrations observées durant les jours ouvrés sont en moyenne 33% supérieures à celles enregistrées en fin de semaine.

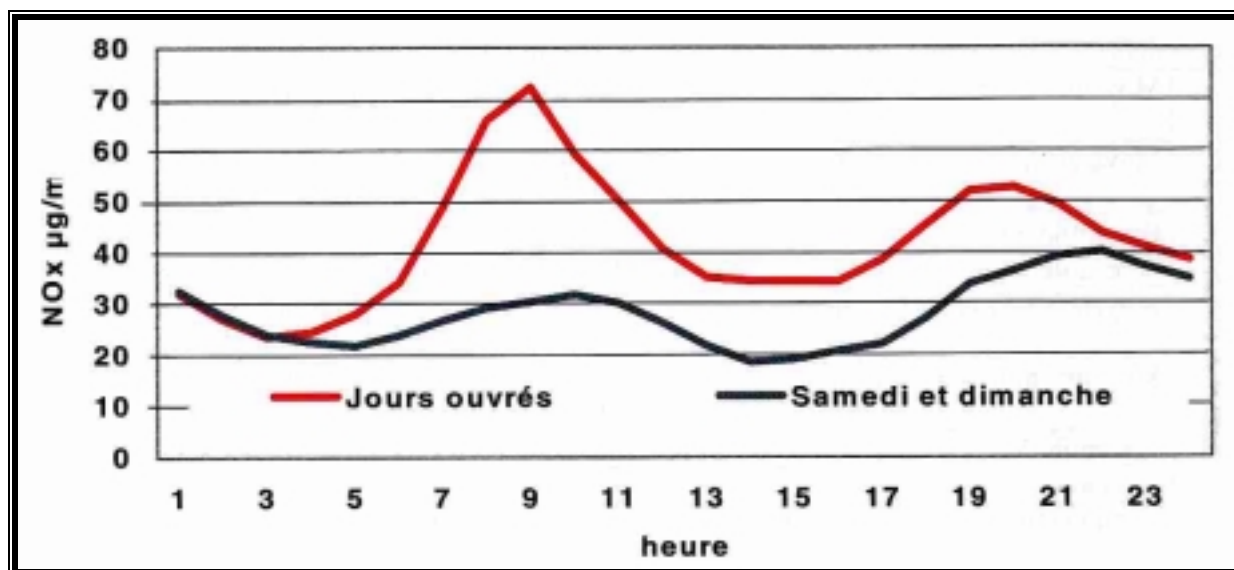


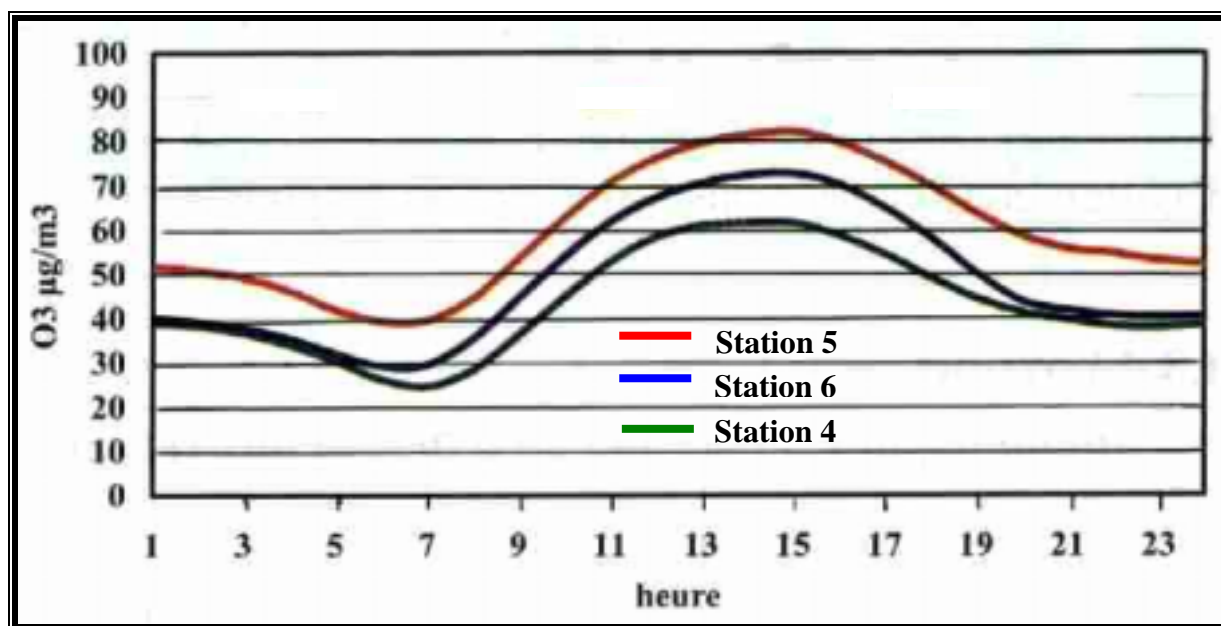
Figure 13 : Cycle journalier moyen des NOx relevé sur la station 4 (année 1999) [13]

#### - L'ozone

L'ozone est un polluant secondaire produit dans l'atmosphère suite à des transformations chimiques impliquant les oxydes d'azote, les hydrocarbures et l'oxygène de l'air. Ces transformations chimiques sont conditionnées par la radiation solaire (en absence de soleil, le processus de formation de l'ozone est stoppé), on parle alors de réaction photochimique.



L'influence du soleil sur la formation de l'ozone se traduit par la présence des niveaux les plus élevés de ce polluant durant la journée (voir figure 14). Les concentrations maximales sont observées lorsque le rayonnement solaire est à son maximum. La nuit, la production de l'ozone est stoppée. La quantité d'ozone produite durant la journée est consommée progressivement et en particulier par les espèces chimiques oxydables présentes dans l'atmosphère (NO, hydrocarbures insaturés...), mais aussi par les processus de dépôt sur le sol et la végétation. Cette décroissance se poursuit jusqu'au petit matin pour atteindre les concentrations minimales de la journée juste avant le déclenchement d'un nouveau cycle journalier.

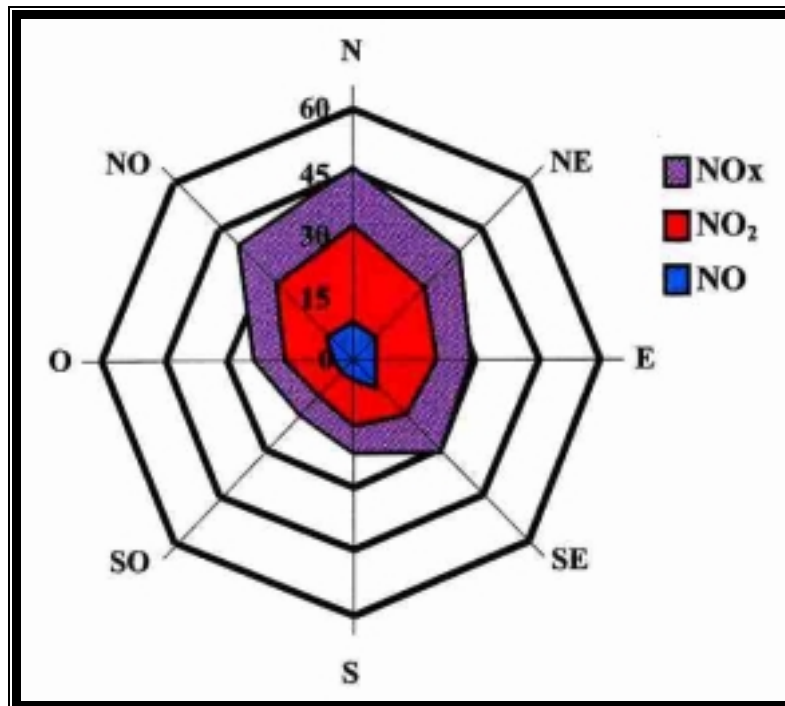


*Figure 14 : Profils moyens en O3 sur Orléans (année 1999) [13]*

✓ **Influence directionnelle sur les concentrations en oxydes d'azote et en ozone**

- Les oxydes d'azote

La rose de pollution (concentrations moyennes suivant chaque direction du vent, voir figure 15), coupe l'agglomération d'Orléans en deux : le nord est plutôt riche en oxydes d'azote, alors que les faibles concentrations sont plutôt observées sur le sud de l'agglomération.



*Figure 15 : Rose de pollution en oxydes d'azote sur la station 5 (µg/m3) (année 1999) [13]*

La présence des principaux axes autoroutiers ainsi que leur grande fréquentation au nord de l'agglomération orléanaise, associés aux conditions météorologiques plutôt favorables à l'accumulation des espèces polluantes par ce secteur, rendent les masses d'air qui franchissent ce secteur plus chargées en oxydes d'azote.

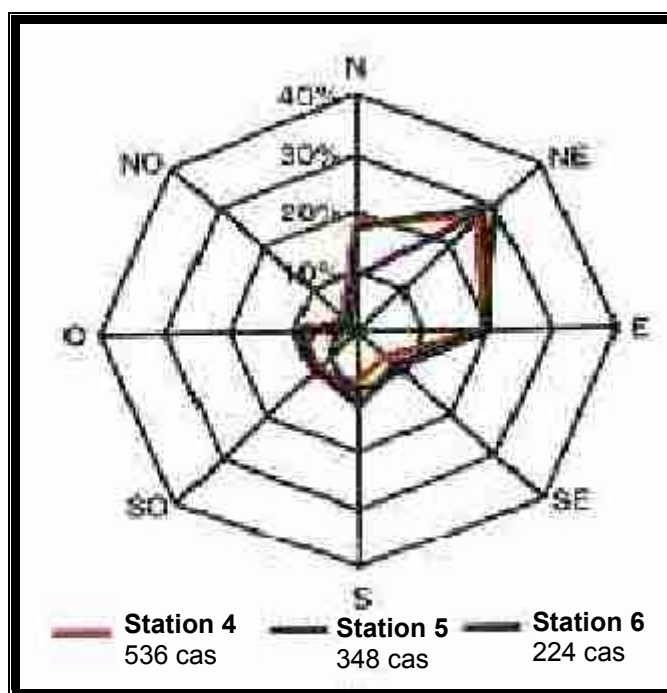
En plus de la faible fréquentation des axes autoroutiers au sud par rapport au nord, les masses d'air originaires des secteurs sud sont plutôt soumises à des conditions météorologiques favorables à la dispersion des polluants, par conséquent elles sont moins chargées en oxydes d'azote.

#### - L'ozone

L'ozone est un polluant qui se forme principalement pendant le transport des masses d'air loin des sources d'émissions en particulier celles des oxydes d'azote.

Les quantités d'ozone produites dans ces masses d'air sont plus importantes lorsque les conditions météorologiques sont favorables à l'activité photochimique (fort ensoleillement, grande stabilité atmosphérique, température élevée..., situations anticycloniques en général). C'est dans ces conditions que les épisodes de pollution photochimique sont déclenchés et que les pics d'ozone sont observés.

Sur l'agglomération orléanaise, ce sont les masses d'air qui arrivent par les secteurs nord à est qui sont caractérisées par des conditions météorologiques favorables à la production des polluants photochimiques et en particulier à celle de l'ozone. La figure 16 montre en effet que les pointes d'ozone ( $\geq 110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  seuil de protection de la santé) sont observées dans plus de 60% des cas lorsque les masses d'air arrivent par les secteurs nord à est.



*Figure 16 : Fréquence des pointes d'ozone suivant la direction du vent à Orléans (année 1999) [13]*

La position géographique de l'agglomération orléanaise, au sud de l'agglomération parisienne, laisse entendre que les pointes d'ozone observées suivant les secteurs nord sont dues au transport des masses d'air depuis la région parisienne. Cependant, la direction du vent est un paramètre qui peut être influencé par la topographie locale du site où il a été mesuré. Par conséquent, les résultats obtenus par ce paramètre doivent être pris seulement comme des indications.

La figure 16 montre aussi que le nombre de pointes d'ozone varie suivant le site ou plus précisément suivant l'environnement immédiat du site. En effet, le nombre maximal de pics d'ozone (536 cas) est observé sur la station 4 et c'est sur cette station que sont enregistrés les niveaux les plus faibles en oxydes d'azote. La station 5 est caractérisée par les concentrations moyennes les plus élevées des sites de mesures urbaines et c'est sur cette station que nous observons le nombre minimal de pointes d'ozone (224 cas, soit 58% en moins que sur la station 4). Le sud de l'agglomération orléanaise est donc plus soumis aux pics d'ozone que le nord. Cette tendance s'explique plutôt par une consommation d'ozone au nord de l'agglomération (secteur plus chargé en  $\text{NO}_x$ ) que par une éventuelle forte production d'ozone au sud d'Orléans.

## II.2.2) Agglomération de Chartres

Les deux stations de Chartres ont été mises en service durant l'année 1999. Tous les résultats concernant l'année 1999 représentent la période allant de juin 1999 à décembre 1999.

### ✓ *Situation par rapport aux directives et aux recommandations*

- Les oxydes d'azote

Pendant la période étudiée, les concentrations en dioxyde d'azote sur l'agglomération de Chartres sont restées faibles devant les valeurs limites et les valeurs guides (voir tableau 4). Aucun dépassement des directives européennes ou des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) n'a été observé pour ce polluant.

		Station 1	Station 2	Critères nationaux de qualité de l'air		Directive Européenne 1999/30/CE	Recommandations de l'OMS
NO <sub>2</sub>	Moyenne journalière maximale	48 µg/m <sup>3</sup> le 29/11/99	47 µg/m <sup>3</sup> le 04/11/99				150 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 24 heures
	Moyenne horaire maximale	154 µg/m <sup>3</sup> le 10/09/99 à 21h	100 µg/m <sup>3</sup> le 03/11/99 à 19h	niveau d'information du public 200 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 1 heure	niveau d'alerte 400 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 1 heure	protection de la santé 200 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 1 heure	
NO	Moyenne journalière maximale	89 µg/m <sup>3</sup> le 28/10/99	92 µg/m <sup>3</sup> le 03/11/99	pas concerné			
	Moyenne horaire maximale	318 µg/m <sup>3</sup> le 27/10/99 à 07h	395 µg/m <sup>3</sup> le 03/11/99 à 19h				

*Tableau 4 : Situation des oxydes d'azote par rapport aux directives et recommandations (année 1999)*

[13]

- L'ozone

Contrairement aux polluants primaires, l'ozone est présent sur l'agglomération de Chartres à des concentrations relativement élevées, en particulier pendant la saison estivale, qui peuvent parfois dépasser les seuils et les recommandations de l'OMS. En effet, durant la période estivale 1999, le seuil d'information de la population (180 µg/m<sup>3</sup>) a été dépassé 4 fois. Les seuils de protection de la santé (110 µg/m<sup>3</sup> sur 8 heures) et de la végétation (65 µg/m<sup>3</sup> sur 24 heures) ont été eux aussi dépassés plusieurs fois (voir tableau 5). Le seuil d'alerte (360 µg/m<sup>3</sup>) n'a jamais été atteint.

Tableau 5 : Situation de l'ozone par rapport aux directives et recommandations (année 1999)[13]

Stations	Station 1	Station 2	
Moyenne horaire maximale	228 µg/m <sup>3</sup> le 29/07/99 à 17h	231 µg/m <sup>3</sup> le 29/07/99 à 17h	Directive Européenne 92/72/CEE
Dépassements des normes Européennes	32	63	seuil de PROTECTION de la végétation 65 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 24 heures
	35	74	seuil pour la PROTECTION de la santé 110 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 8 heures
	4	4	seuil d'INFORMATION des populations sensibles 180 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 1 heure

Les concentrations en ozone maximales horaires enregistrées sur Chartres étaient les concentrations les plus élevées sur la région Centre en 1999. De même, le nombre de dépassement du seuil d'information sur Chartres était le plus élevé. L'agglomération de Chartres a été la plus touchée par la pollution à l'ozone dans la région Centre en 1999.

✓ **Evolution temporelle des polluants**

- A l'échelle annuelle

Tout comme sur l'agglomération d'Orléans, les concentrations en ozone et en dioxyde d'azote sur l'agglomération de Chartres présentent un cycle saisonnier annuel (voir figure 17) . Les concentrations les plus importantes en ozone sont observées pendant la saison estivale tandis que la saison hivernale est marquée par de fortes concentrations en oxydes d'azote.

Il est intéressant de remarquer que par comparaison aux concentrations sur Orléans (figure 11) les concentrations en NOx sont plus faibles (elles ne dépassent pas ici 45 µg/m<sup>3</sup>) et inversement celles en ozone sont plus fortes (atteignant ici 80 µg/m<sup>3</sup>). En faisant bien remarquer qu'il ne s'agit pas de la même année, il semble tout de même que l'hypothèse avancée au chapitre **B.II.2.1** (influence directionnelle sur les concentrations), selon laquelle les agglomérations situées sous le panache des émissions parisiennes sont soumises à de fortes teneurs en ozone et moindres en NOx, se vérifie.

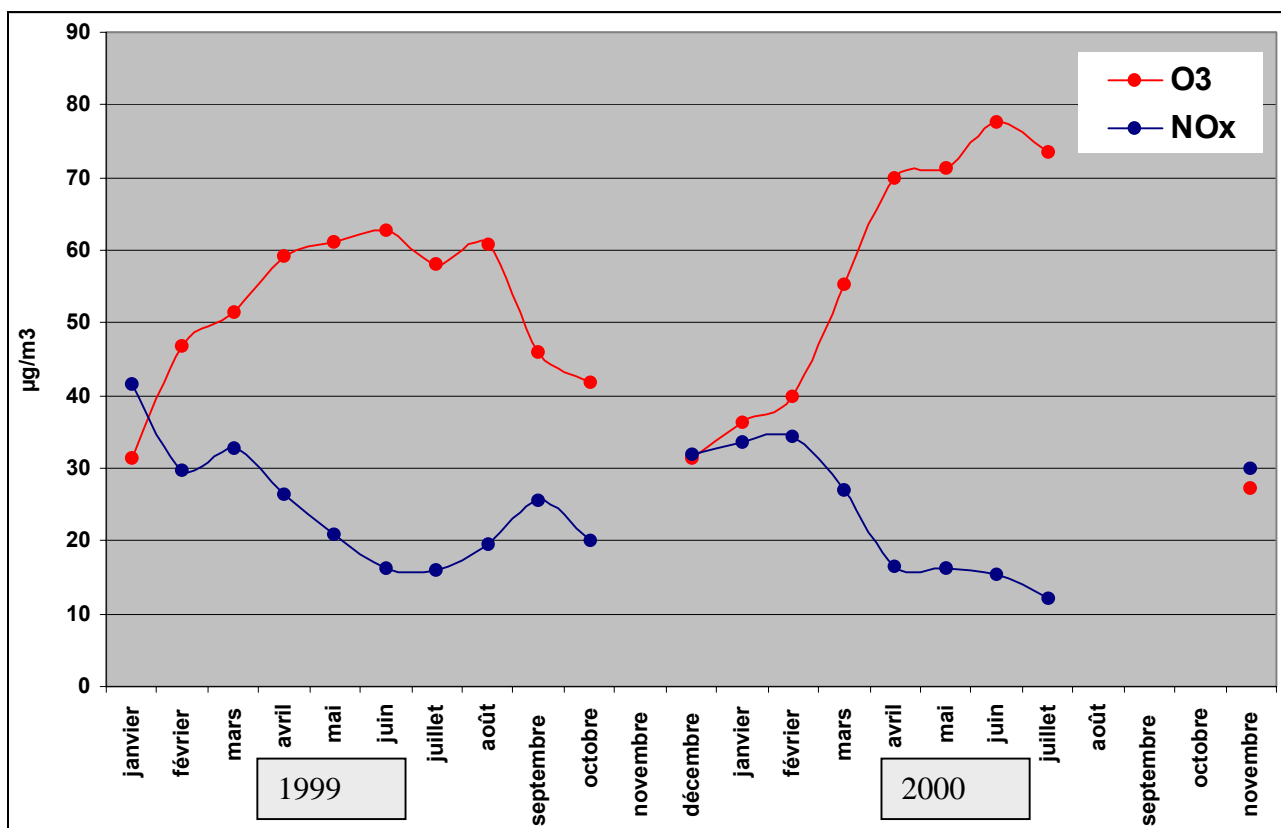


Figure 17 : Cycles annuels en ozone et oxydes d'azote sur la station 1 (années 1999 - 2000) [14]

- A l'échelle journalière
- Le dioxyde d'azote

Il présente un profil journalier classique (figure 18). Il est caractérisé par la présence de deux pics de concentration, un le matin et l'autre l'après-midi. Ce profil est typique de la circulation automobile, les deux pics journaliers correspondant aux heures de pointes de la circulation. Ceci indique que la circulation automobile est la principale source de ce polluant sur cette agglomération.

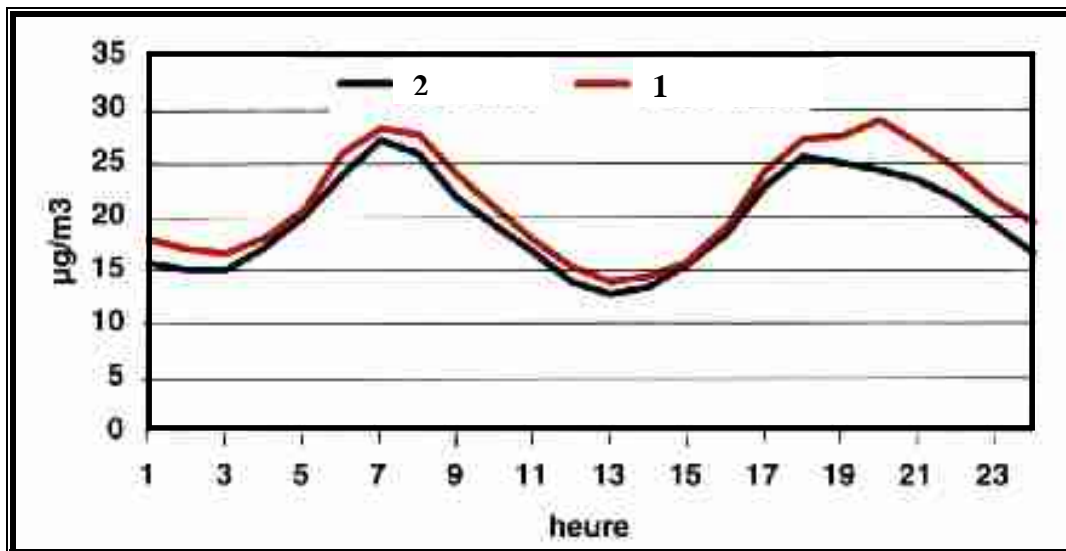


Figure 18 : Variation journalière du dioxyde d'azote sur l'agglomération de Chartres (année 1999) [13]

- L'ozone

Le profil moyen en O<sub>3</sub> sur Chartres (voir figure 19) présente exactement les mêmes caractéristiques que celui sur Orléans. L'influence du soleil se traduit par la présence des niveaux les plus élevés durant la journée.

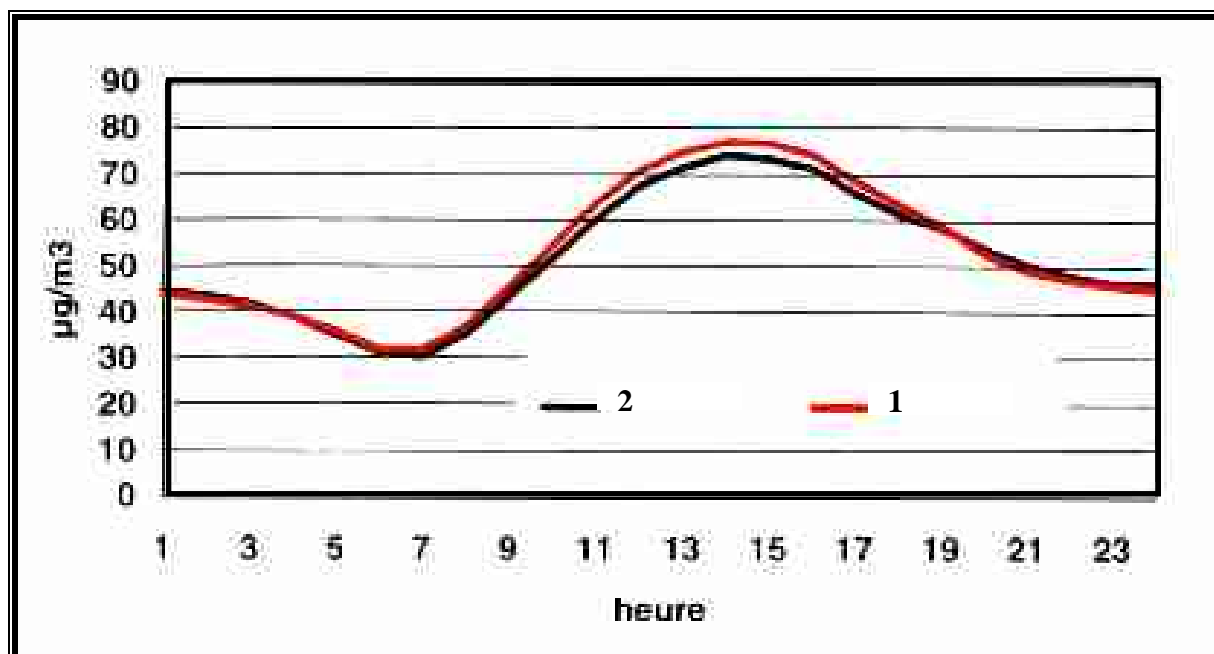


Figure 19 : Profils moyens en ozone sur Chartres (année 1999) [13]

✓ **Influence directionnelle sur les concentrations en ozone**

A la fin du mois de juillet 1999 ont été enregistrées sur l'agglomération de Chartres les concentrations les plus élevées en ozone sur toute la région Centre. L'analyse des données météorologiques de cette période montre que les conditions météorologiques étaient favorables à la production photochimique et à l'accumulation des polluants. Mais surtout, la ville de Chartres était sous le panache de l'agglomération parisienne pendant cette période. Ces masses d'air ont atteint la ville d'Orléans une journée après leur apparition sur Chartres.

**II.3) La qualité de l'air au sud de l'agglomération parisienne**

L'association Airparif possède une station de mesure de type rurale régionale ( la station 7 sur la figure 8, au nord de notre domaine de simulation. Les principaux résultats de la pollution en oxydes d'azote et en ozone sur ce site peuvent nous être utiles.

Les résultats proviennent de l'exploitation de mesures disponibles sur la Banque de Données de la Qualité de l'Air [14] et sur le site internet d'Airparif [15].

**II.3.1) Situation par rapport aux directives et aux recommandations**

● Les oxydes d'azote

		année 1999	année 2000	Critères nationaux de qualité de l'air		Directive Européenne 85/203/EEC	Recommandations de l'OMS
NO <sub>2</sub>	Moyenne annuelle	13 µg/m <sup>3</sup>	15 µg/m <sup>3</sup>			valeur limite annuelle 40 µg/m <sup>3</sup>	valeur limite annuelle 40 µg/m <sup>3</sup>
	Moyenne journalière maximale	72 µg/m <sup>3</sup> le 12/02/99	67 µg/m <sup>3</sup> le 26/01/00				150 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 24 heures
	Moyenne horaire maximale	128 µg/m <sup>3</sup> le 12/02/99 à 13h	110 µg/m <sup>3</sup> le 23/03/00 à 03h	niveau d'information du public 200 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur une heure	niveau d'alerte 400 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur une heure		
	Percentile 50	8 µg/m <sup>3</sup>	10 µg/m <sup>3</sup>			Percentile 50 valeur guide 50 µg/m <sup>3</sup>	
	Percentile 98	54 µg/m <sup>3</sup>	59 µg/m <sup>3</sup>			Percentile 98 valeur limite 200 µg/m <sup>3</sup>	
NO	Moyenne annuelle	4 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup>	pas concerné			
	Moyenne journalière maximale	41 µg/m <sup>3</sup> le 29/10/99	31 µg/m <sup>3</sup> le 27/01/00				
	Moyenne horaire maximale	116 µg/m <sup>3</sup> le 22/01/99 à 00h	84 µg/m <sup>3</sup> le 27/01/00 à 09h				
	Percentile 50	3 µg/m <sup>3</sup>	1 µg/m <sup>3</sup>				
	Percentile 98	22 µg/m <sup>3</sup>	19 µg/m <sup>3</sup>				

**Tableau 6 : Situation des oxydes d'azote par rapport aux directives et recommandations (1999 - 2000)** [15]

Durant les années 1999 et 2000, les concentrations en dioxyde d'azote sont restées très faibles. Assez logiquement, aucun dépassement n'a été enregistré. Les moyennes annuelles de 13 et 15 µg/m<sup>3</sup> respectivement en 1999 et 2000 sont remarquablement basses.



● L'ozone

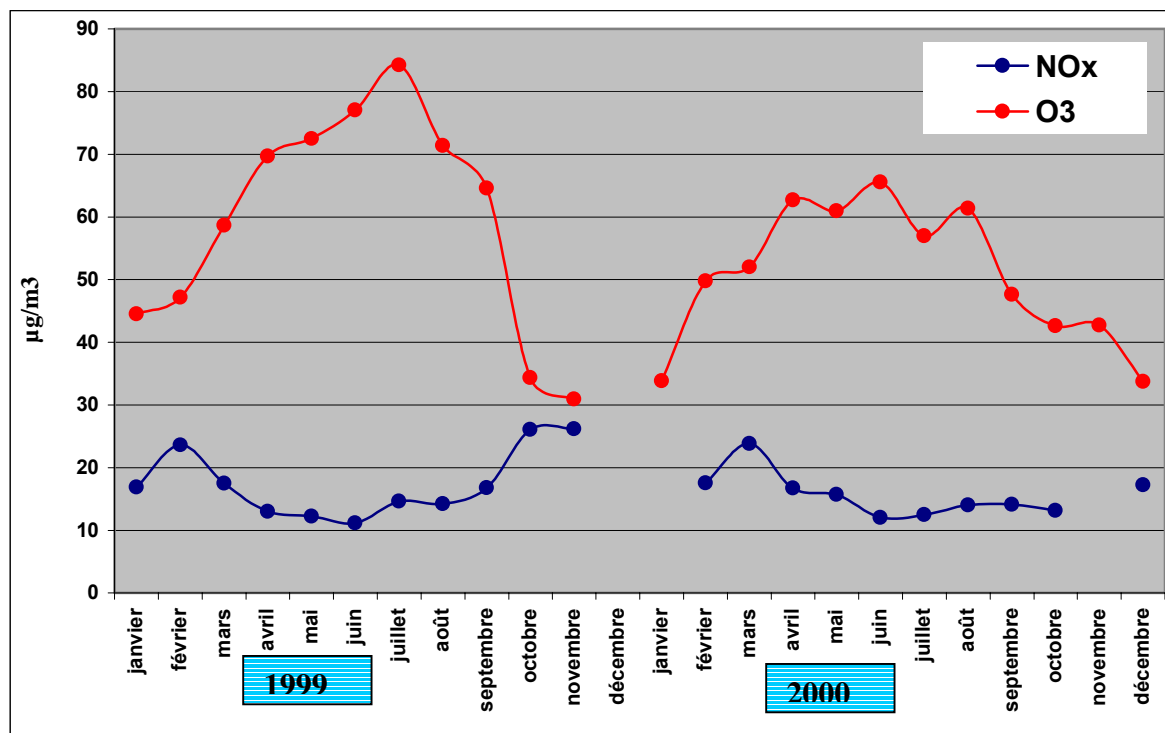
	année 1999	année 2000	Directive Européenne 92/72/CEE
Moyenne horaire maximale	228 µg/m <sup>3</sup> le 29/07/99 à 16h	160 µg/m <sup>3</sup> le 20/07/00 à 15h	
Moyenne annuelle	59 µg/m <sup>3</sup>	51 µg/m <sup>3</sup>	projet de directive 40 µg/m <sup>3</sup>
Dépassements des normes Européennes	0	0	seuil d'ALERTE de la population 360 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 1 heure
	14	0	seuil de PROTECTION de la végétation 200 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 1 heure
	43	0	seuil d'INFORMATION des populations sensibles 180 µg/m <sup>3</sup> moyenne sur 1 heure

*Tableau 7 : Situation de l'ozone par rapport aux directives et recommandations (1999 – 2000) [15]*

Contrairement aux oxydes d'azote, les zones rurales sont souvent soumises à de fortes teneurs en ozone. Durant l'année 1999, il y a eu 43 dépassements du seuil d'information de la population (180 µg/m<sup>3</sup>) contre 4 dépassements à Chartres. Les moyennes annuelles de 59 et 51 µg/m<sup>3</sup> respectivement en 1999 et 2000 sont élevées.

II.3.2) Evolution temporelle des polluants

● A l'échelle annuelle



*Figure 20 : Cycles annuels en O<sub>3</sub> et NOx sur la station 7 (années 1999 – 2000) [14]*

- Ce qui est remarquable sur la figure 20 représentant les cycles annuels des polluants, c'est le comportement des oxydes d'azote. En effet leurs concentrations moyennes mensuelles restent faibles tout au long de l'année. L'hiver elles ne dépassent pas 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  alors que les concentrations moyennes mensuelles en NOx dépassent 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Orléans (voir figure 11). De plus le cycle hiver – été est beaucoup moins marqué que pour un site urbain : les concentrations moyennes mensuelles varient de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , alors qu'à Orléans elles s'étaient de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (voir figure 11).

A l'inverse, en ce qui concerne l'ozone, le cycle annuel est bien marqué et les concentrations sont plus élevées qu'à Chartres, en été comme en hiver.

- Ces observations s'expliquent par le caractère rural influencé du site.

Les émissions d'oxydes d'azote sont plus éloignées et leur impact sur les concentrations est moindre : elles sont faibles et moins marquée par les cycles temporels.

Les fortes concentrations en ozone s'expliquent d'une part, par l'absence de polluants susceptibles de détruire l'ozone (tel le monoxyde d'azote en milieu urbain), mais aussi par la situation géographique de la station placée sous le panache des émissions parisiennes. De plus, l'agglomération parisienne elle-même peut être sous l'influence des panaches originaires de Londres, du Bénélux via le Nord de la France ou des grandes villes allemandes via l'Alsace et la Lorraine. Localement, les fortes émissions franciliennes associées notamment au trafic routier de l'agglomération enrichissent ce panache qui peut poursuivre son trajet vers Rouen ou Orléans via les zones rurales Est et Sud de l'Île-de-France [16].

● A l'échelle journalière

- Les oxydes d'azote

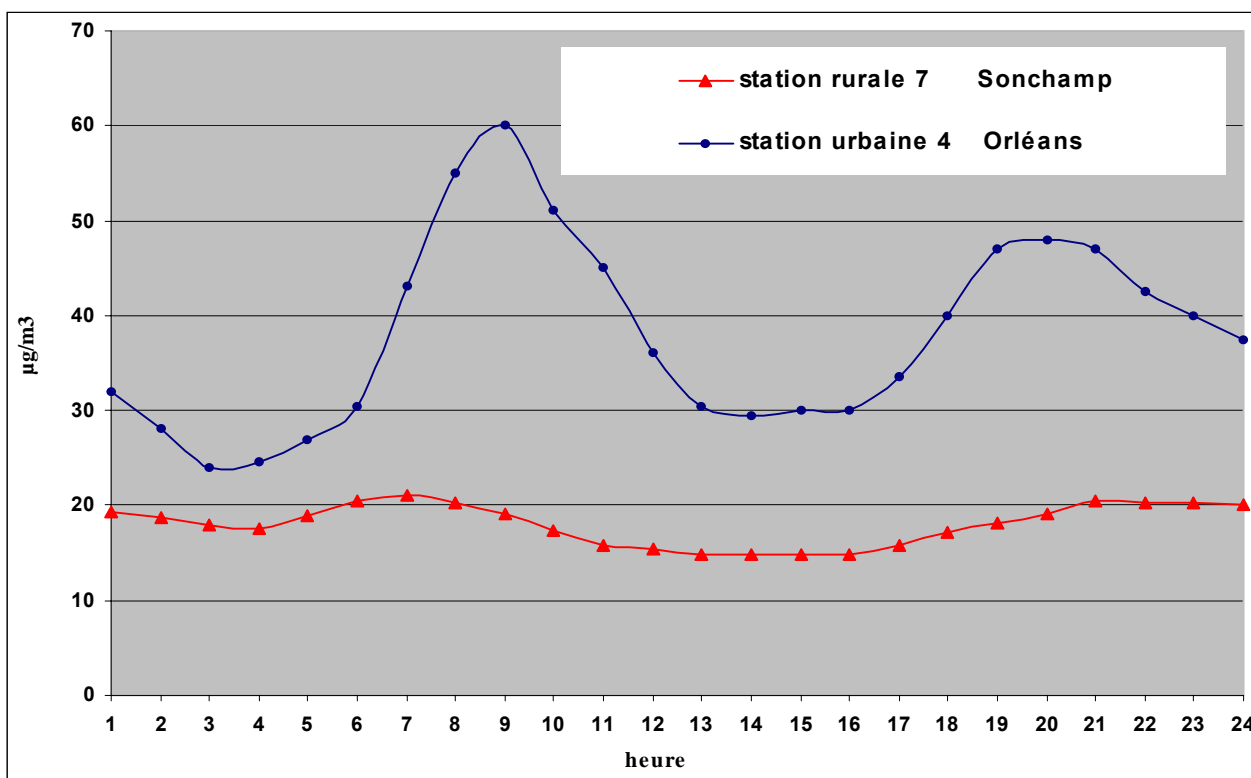


Figure 21 : Variation journalière des NOx sur Orléans et Sonchamp (année 1999). [13] [14]

La figure 21 représente le profil journalier moyen pour l'année 1999 des NOx sur la station rurale 7 (Sonchamp), superposé à celui de la station 4 d'Orléans ( extrait de la figure 12 ).

Les concentrations horaires moyennes du site rural restent faibles tout au long de la journée. Elles varient entre 15 et 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Le cycle journalier des concentrations, dû aux pointes du trafic routier, est à peine remarquable sur la station rurale. En revanche, les concentrations sur la station urbaine s'étalent de 24 à 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , donnant lieu à deux pics coïncidant avec les horaires de pointe du trafic.

Ces observations s'expliquent de la même manière que pour le profil annuel des concentrations (figure 20). Un site rural est caractérisé par des émissions locales en oxydes d'azote faibles. Les polluants émis par des sources plus éloignées sont dispersés, éventuellement transformés par la photochimie, avant de parvenir sur le site de la station. Il en résulte un niveau moyen des concentrations faible, et une « réponse » moindre aux pointes de trafic.

Sur ce site rural, les concentrations en Nox peuvent être considérées comme pratiquement invariantes à l'échelle de la journée.

- L'ozone

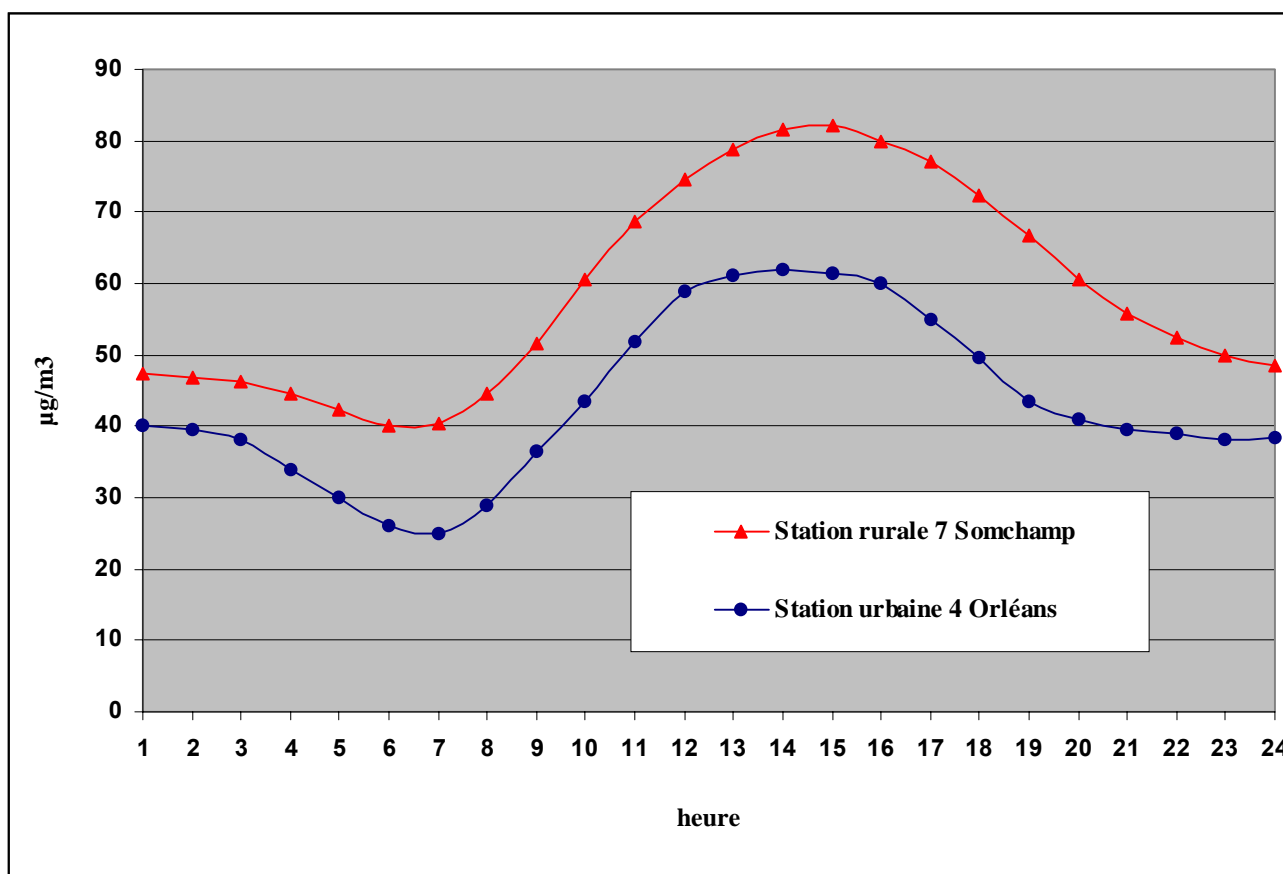


Figure 22 : Variation journalière de l'ozone sur Orléans et Sonchamp (année 1999) [13] [14]

La figure 22 représente le profil journalier moyen pour l'année 1999 des concentrations en ozone sur la station rurale 7 (Sonchamp), superposé à celui de la station 4 d'Orléans ( extrait de la figure 14 ).

Les concentrations horaires moyennes sur la station rurale sont plus élevées que sur la station urbaine, du fait de sa situation géographique propice à la pollution photochimique. Le cycle journalier des concentrations en ozone est aussi bien marqué en zone rurale qu'en zone urbaine, puisqu'il résulte essentiellement du cycle de l'ensoleillement.

## CONCLUSION

L'application du modèle eulérien TRANSCHIM-R sur le nord de la région Centre, devrait permettre de formuler des recommandations d'application et de réaliser des cartographies de concentrations moyennes (mensuelles, annuelles) en oxydes d'azote dans le cadre d'une application de suivi de la pollution en zone rurale influencée.

Nous avons choisi d'alimenter le modèle par des données météorologiques ALADIN et par des données d'émission issues d'inventaires réalisés par Lig'air et Airparif. Plutôt que d'intégrer l'agglomération parisienne et orléanaise dans le domaine, nous avons préféré les exclure. En effet, il nous semble préférable de répondre aux préoccupations de la modélisation en zone rurale en essayant de traduire l'impact des éventuels panaches urbains arrivant sur le domaine par l'intermédiaire des conditions limites. C'est dans ce sens que nous comptons utiliser des champs fournis par le modèle CHIMERE pour alimenter les conditions limites du modèle.

Le modèle, appliqué une première fois pendant 14 jours sur le domaine, sera calé en comparant ses résultats à ceux d'une campagne de mesure par échantillonnage passif. Puis on se dirigera vers l'utilisation d'une météorologie synthétique et des conditions limites moyennes, en vue de calculer des concentrations mensuelles et annuelles.

La grande partie de ce rapport décrit le domaine de simulation. Les résultats de stations automatiques nous renseignent en effet sur la gamme de concentrations auxquelles on doit s'attendre, et sur les différences en terme de pollution entre les zones urbaines et rurales.

Les concentrations en oxydes d'azote atteignent généralement leur maximum au centre des agglomérations et aux alentours de certaines industries, puis présentent un gradient décroissant jusqu'aux zones rurales les moins influencées.

Les concentrations mensuelles observées sur une station rurale, plus exactement sur le secteur de Rambouillet (figure 20), devraient donc représenter un bon ordre de grandeur des concentrations mensuelles minimales sur l'ensemble du domaine. Supérieures à  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ces concentrations minimales ne devraient pas poser de problèmes de limites de détection lors de l'analyse des tubes à diffusion.

En revanche, les fortes concentrations en oxydes d'azote localisées sur les agglomérations, risquent d'être sous-estimées par les mesures par échantillonnage passif : la grande surface à couvrir impose un maillage assez grossier (mailles supérieures à  $25 \text{ km}^2$ ) en raison du coût qu'entraînerait l'utilisation d'un très grand nombre de tubes à diffusion. Ces mailles assez larges vont avoir comme conséquence de moyenner spatialement les concentrations et « lisser » les hétérogénéités de concentrations entre le centre ville et la périphérie. Nous nous attendons donc à obtenir une sous-estimation des concentrations à certains endroits par rapport aux résultats du modèle. Néanmoins cela ne devrait pas gêner l'étude puisque c'est essentiellement les zones inter-agglomérations qui nous intéressent. Pour cette raison, un raffinement du maillage pour les mesures par échantillonnage passif sera effectué, en zone rurale, au niveau des grandes sources ponctuelles et des grandes densités de trafic automobile.

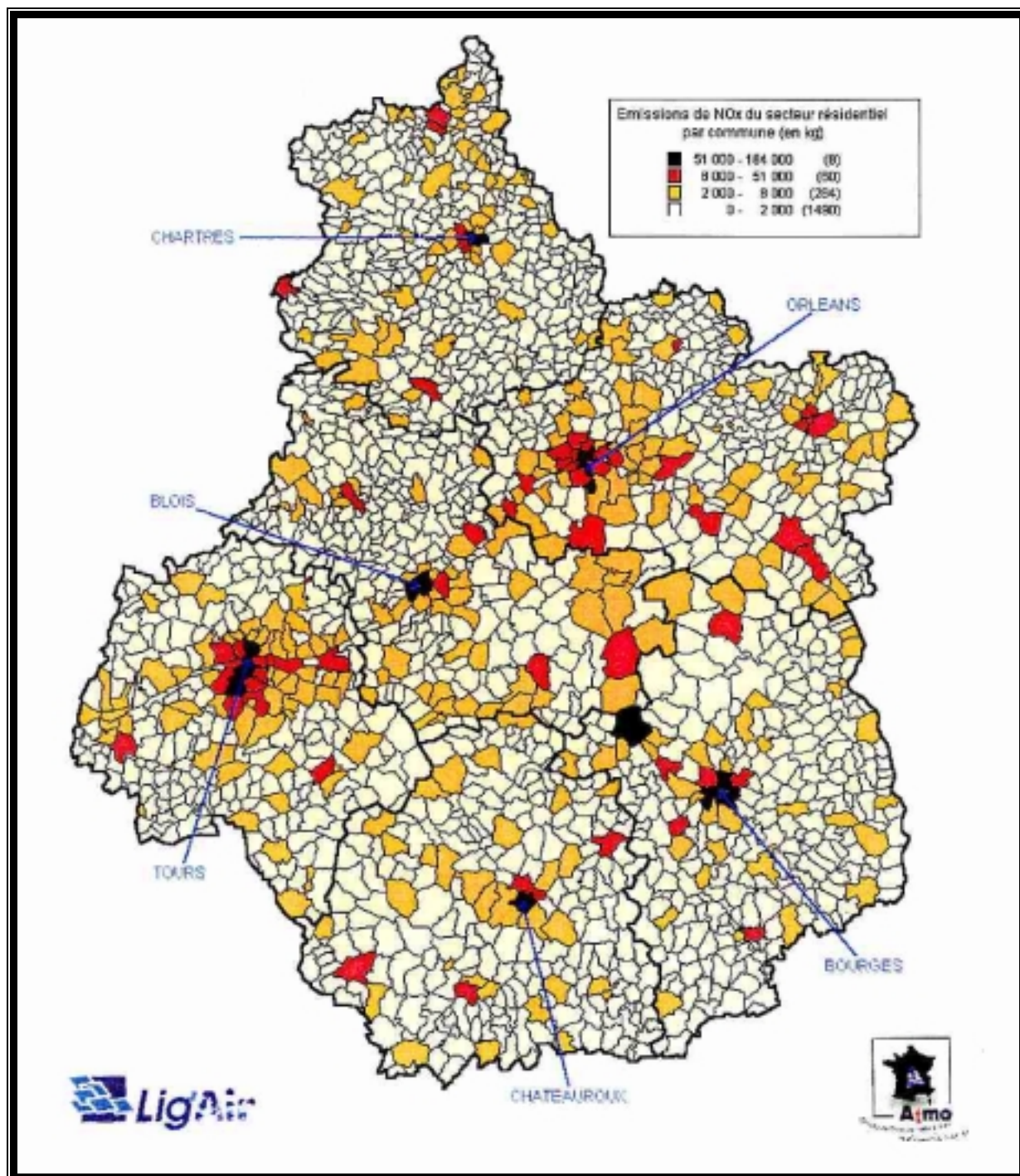
## **REMERCIEMENTS**

Nous remercions le Professeur Alexis COPPALLE du Laboratoire d'Aérodynamique Moteurs et Environnement de l'INSA de Rouen, pour avoir mis à notre disposition le logiciel Transchim et pour ses précieux conseils. Nous tenons à remercier également M. Patrice COLIN, directeur de LIG'AIR, et son équipe pour leur collaboration à cette étude.

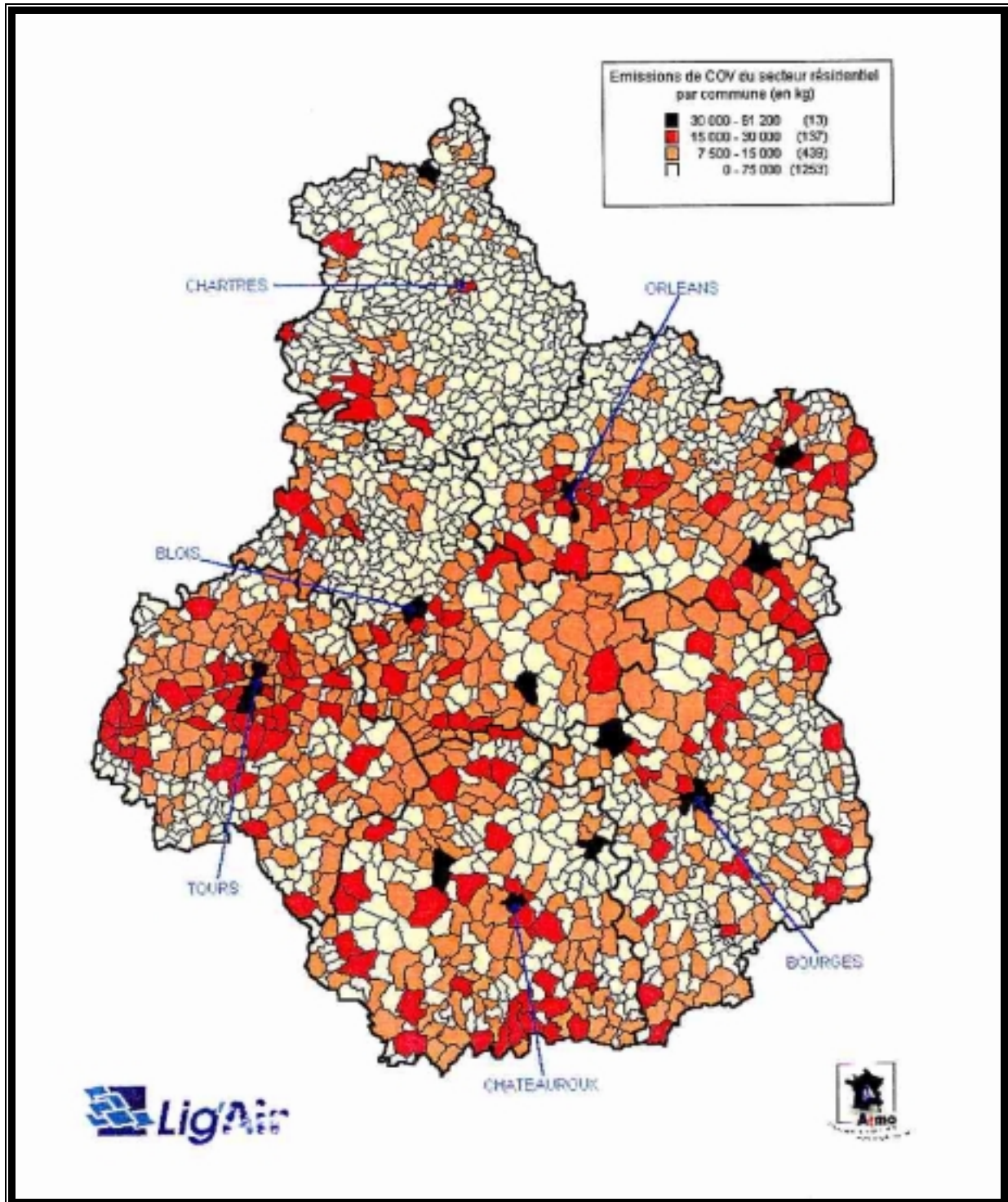
### Références

- [1] **Londergan, R.J. et al.**, 1982: *Evaluation of rural air quality simulation models*. TRC Project 1713-R80, TRC Env. Cons. Inc., 1984.
- [2] **Steven R. Hanna, Bruce A. Egan, John Purdum, and Jen Wagler**, *Evaluation of the ADMS, AERMOD, and ISC3 dispersion models with the optex, duke forest, kinkaid, indianapolis, and lovet field data sets*.
- [3] **Paine, R.J., R.F. Lee, R.W. Brode, R.B. Wilson, A.J. Cimorelli, S.G. Perry, J.C. Weil, A. Venkatram and W.D. Peters**, *Model Evaluation Results for AERMOD*. Prepared for Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (Docket No. A-99-05, II-A-5), 1998
- [4] **O.Couach, C.Besson, C.Chappaz, S. Perego, A. Clappier, B. Calpini & H. Van den Bergh**, *Eulerian modelling of photochemical pollutants over a complex topography urban and rural region, Grenoble case study*; 8th International Symposium Transport and Air Pollution "Cost 319 — Final Conference" Grazer congress, June 1999
- [5] **G.Mounier, O.Couach, M.Batton-Hubert, C. Chappaz, A. Clappier, D. Graillet, B. Caipini et H. van den Bergh**, *Analyse spatiale de la qualité de l'air à méso-échelle à l'aide d'un modèle eulérien photochimique. Application à la région Rhône-Alpes par "multi-nesting"*; 9th International Scientific Symposium Avignon France, June 2000
- [6] **Kübler J., Giovannoni J.-M. and Russel A.G.** *Eulerian modeling of photochemical pollutants over the Swiss Plateau and control strategy analysis*, Atmospheric Environment Vol. 30 N° 6, 951 — 966, 1995
- [7] **Fraigneau Y.**, *Etudes numériques de l'évolution diurne de l'ozone dans la région d'une agglomération*, Thèse de Doctorat, Université de Rouen, 1996.
- [8] **Rajaona T.**, *Raffinement local de maillage avec une méthode de décomposition de domaine: application au calcul de la dispersion des polluants dans le voisinage d'une source*, thèse de Doctorat, Université de Rouen, 2000.
- [9] **Louis, J. F.**, *A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere*, Boundary-Layer Meteorology., 17.187-202, 1979
- [10] **Boutonnet, F.**, *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en région Centre - année de référence 1999*, Rapport de stage de DESS, Université d'Orléans, 2001.
- [11] *SNAP 97 version 1.0 du 20/03/1998 (traduction CITEPA)*, Agence Européenne de l'Environnement / Centre Thématique Emissions. [www.citepa.org](http://www.citepa.org)
- [12] *Calcul des émissions dans l'air – principes méthodologiques généraux - mise à jour du 30 mai 2000*, CITEPA, . [www.citepa.org](http://www.citepa.org)
- [13] *Qualité de l'air sur la région Centre*, Rapport d'activité 1999, Lig'air.
- [14] Banque de données de la qualité de l'air.
- [15] Site internet de l'association Airparif : [www.airparif.asso.fr](http://www.airparif.asso.fr)
- [16] *La qualité de l'air en Ile-de-France : été 99*, AIRPARIF actualité, n°9 – novembre 1999

# ANNEXE 1 : REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES EMISSIONS DE NOx ISSUES DU SECTEUR RESIDENTIEL POUR LA REGION CENTRE (année 1999)



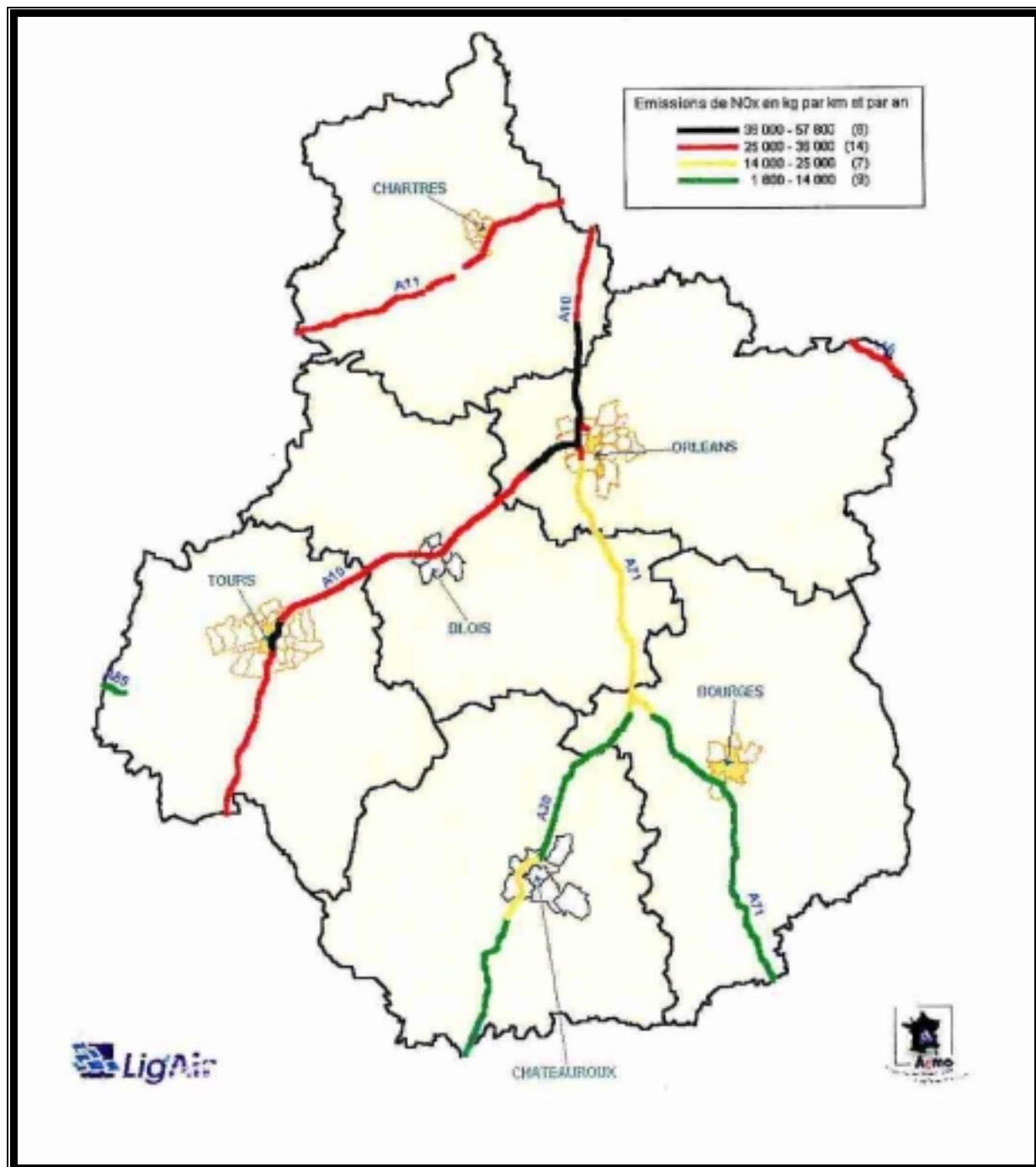
**ANNEXE 2 : REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES EMISSIONS DE COV  
ISSUES DU SECTEUR RESIDENTIEL POUR LA REGION CENTRE**  
(année 1999)





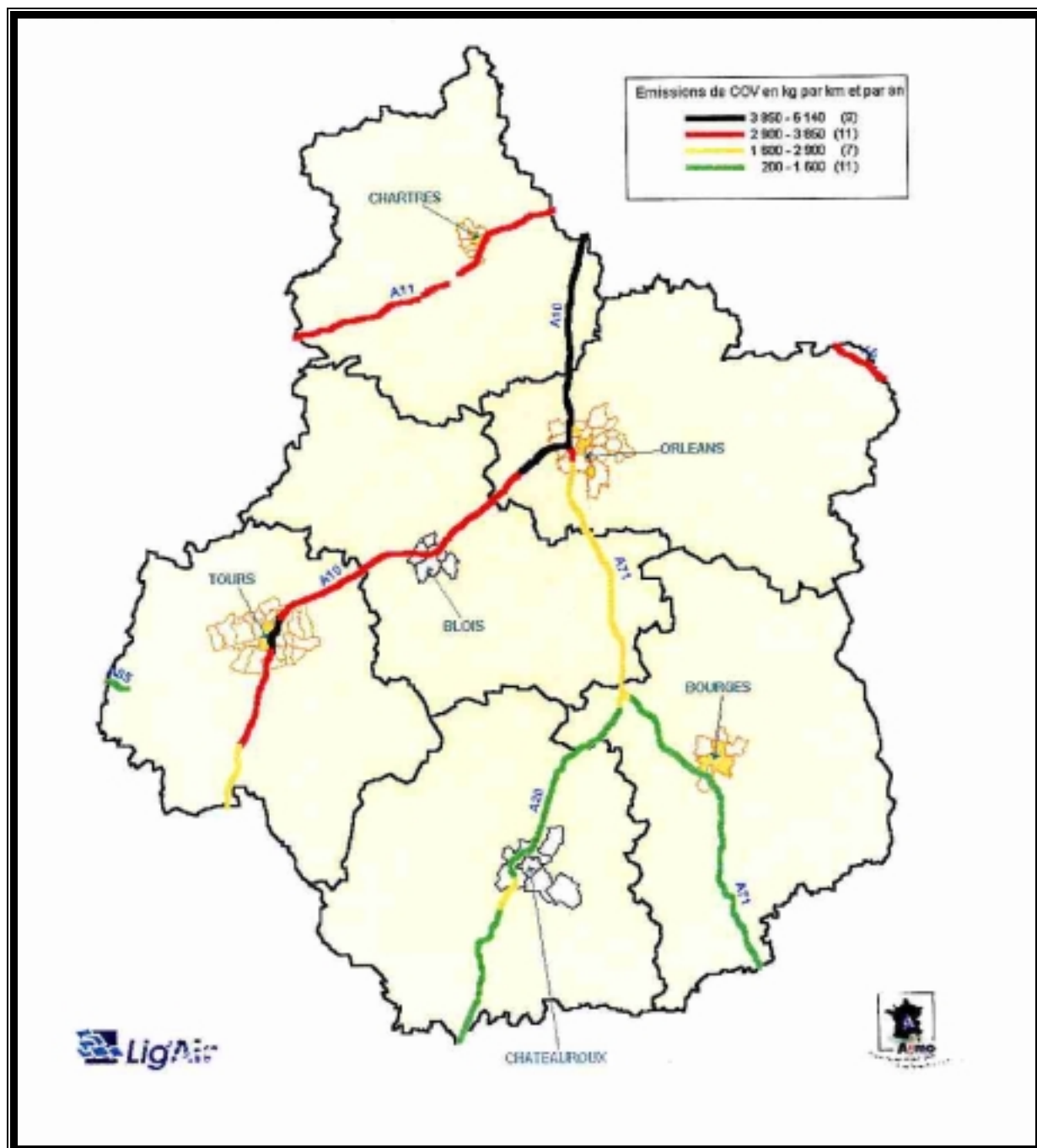
### ANNEXE 3 : EMISSIONS DE NOx DUES AU TRAFIC ROUTIER SUR LES AUTOROUTES DE LA REGION CENTRE

(année 1999)



# ANNEXE 4 : EMISSIONS DE COV DUES AU TRAFIC ROUTIER SUR LES AUTOROUTES DE LA REGION CENTRE

(année 1999)



# ANNEXE 5 : EMISSIONS DE NOx DUES AU TRAFIC ROUTIER SUR LES NATIONALES DE LA REGION CENTRE

(année 1999)

