

L'inventaire spatialisé des émissions atmosphériques pour la région de Strasbourg (Communauté Urbaine de Strasbourg étendue) pour 1995

The atmospheric spatialised emission inventory for the Region of Strasbourg (extended Urban Community of Strasbourg) for 1995

Jean-Luc PONCHE, Nasser ZAÏDI, Sylvain FAYET
et Ph. MIRABEL (*)

RÉSUMÉ

Dans le cadre du programme national PRIMEQUAL d'étude de la qualité de l'air, l'inventaire spatialisé des émissions atmosphériques de la région de Strasbourg des polluants majeurs (SO_2 , NO_x , COV, CO) à l'échelle du km^2 a été réactualisé pour 1995. Les méthodes et les résultats de ce cadastre d'émissions sont présentés brièvement ici. Ce cadastre alimentera dans un second temps une modélisation méso-échelle des épisodes de pollution par l'ozone en 1995 afin d'étudier les mesures à prendre pour éviter ces épisodes et améliorer globalement la qualité de l'air.

ABSTRACT

In the frame of the national air quality keeping program PRIMEQUAL, The atmospheric emissions inventory of the major pollutants (SO_2 , NO_x , VOC, CO) has been realised, with a spatial resolution of 1 km^2 on an area of 900 km^2 around Strasbourg has been updated for the year 1995. The methods used and the results are briefly presented here. This inventory will be used as input data for a mesoscale modelling of the main ozone peak episodes of 1995, to settle abatement strategy to avoid pollution peak and to improve globally the urban air quality.

1. Introduction

Cet inventaire d'émissions pour 1995 s'inscrit dans le programme national PRIMEQUAL d'étude de la qualité de l'air en zone urbaine. Ce travail comprend deux volets en ce qui concerne le laboratoire de physico-chimie de l'atmosphère : Une partie « cadastre » développée ici et une partie modélisation qui utilise ces résultats. Du fait du couplage étroit entre les phénomènes de pollution et les paramètres climatiques, il devient envisageable en connaissant simultanément les situations climatologiques locales caractéristiques et les situations d'émissions atmosphériques de prévoir les épisodes majeurs de pollution. L'objectif est de savoir à quel moment rédui-

re des émissions et lesquelles réduire, de façon à atténuer voir à éviter ces pointes de pollution à moindre coût. Pour modéliser les concentrations de polluants à l'échelle d'une agglomération ou d'une région, il importe de connaître les flux, la nature chimique et le détail de chaque catégorie d'émissions dans l'espace et dans le temps. Par conséquent, l'établissement des bases de données d'émissions est une étape déterminante de cette problématique.

Dans le cadre du programme REKLIP (programme de climatologie du fossé Rhénan Méridional), une méthodologie d'inventaires spatialisés d'émissions à haute résolution spatiale et temporelle a été développée (SCHNEIDER, 1995 ; PONCHE, 1995a). Celle-ci nous a permis d'élaborer plusieurs autres inventaires d'émissions atmosphériques dont INTERREG I (Plan de Protection Atmosphérique Strasbourg-Ortenau - PONCHE *et al.*, 1995b). Dans cette étude, les émissions spatialisées ont été réactualisées pour l'année 1995 en y incluant la contribution biogé-

(*) Centre de Géochimie de la Surface / Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère, UMR 7517 du CNRS. Université Louis Pasteur de Strasbourg ; 28 rue Goethe, F-67083 Strasbourg Cedex.

nique des forêts Cette méthodologie a été également utilisée pour établir les cadastres horaires durant les différents épisodes estivaux de pollution par l'ozone de 1995.

1.1. Les Cadastres d'émissions à haute résolution temporelle et la modélisation de la qualité de l'air

La modélisation des champs de concentration de la troposphère, c'est-à-dire de la qualité de l'air, requiert l'utilisation d'un modèle qui permette de générer les champs climatologiques (températures, champs de vents, etc.) ainsi qu'un module de chimie et/ou de photochimie qui est fonction des objectifs de l'étude. Les bases de données horaires d'émissions spatialisées permettent d'initialiser et d'alimenter au cours de la modélisation les mécanismes réactionnels chimiques pris en compte dans le module chimique du modèle. Cette modélisation doit permettre dans un premier temps de retrouver les épisodes de pollution par l'ozone. Par temps clair en atmosphère polluée, quelques heures qui varient en fonction de la température et de l'intensité du rayonnement solaire, sont nécessaires pour initialiser les réactions de photolyses et générer des quantités importantes d'ozone troposphérique, ce qui justifie la nécessité de cette résolution horaire. Les résultats de la modélisation dépendront beaucoup de la précision avec laquelle sont décrites les émissions.

La modélisation dans laquelle interviendront ces cadastres d'émissions utilisera le modèle EZM (EUMAC Zooming Model) du Professeur N. MOUSIOPOULOS (Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineering, Université Aristotle de Thessalonique, Grèce). Ces modèles sont diagnostiques, néanmoins par une classification adéquate des types de situations climatiques et d'émissions, il est possible de se ramener à des modélisations « semi-pronostiques ».

1.2. La zone d'étude

La zone d'étude du cadastre PRIMEQUAL reste quasiment la même que celle de l'inventaire spatialisé de 1990 : Le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg étendu à une zone rectangulaire qui l'englobe et la partie allemande constituée par l'arrondissement de l'Ortenau (qui comprend les villes de Kehl et d'Offenbourg), étendue de manière à obtenir la zone rectangulaire complémentaire de la partie française. L'ensemble de la zone a par conséquent une extension Nord-Sud de 33 km et Ouest-Est de 29 km (tableau I). Le domaine d'étude a été divisé en mailles régulières de $1 \times 1 \text{ km}^2$ pour la spatialisation des émissions.

Cette zone urbaine et périurbaine est simple du point de vue topographique, puisqu'elle est située dans la plaine Rhénane de part et d'autre du Rhin. Les reliefs importants sont situés en dehors de celle-ci, même s'ils sont relativement peu éloignés (les Vosges sont situées à 20-30 km à l'ouest et la Forêt Noire à 10-20 km à l'est).

1.3. Les caractéristiques générales du cadastre

Le cadastre des émissions 1995 ne porte que sur la partie française de la zone car aucune réactualisation du cadastre 1990 n'a été ou ne sera envisagée côté allemand. Nous utiliserons les résultats du cadastre 1990 pour l'Ortenau et les résultats du programme REKLIP pour 1990 (PONCHE *et al.*, 1995a ; SCHNEIDER, 1995) pour compléter la zone rectangulaire (tableau I). Ce cadastre comporte globalement les mêmes caractéristiques que le cadastre annuel de Strasbourg-Offenbourg pour 1990 (PONCHE *et al.*, 1995b). Cependant, l'aspect estival des épisodes de pollution par l'ozone nous a amené à prendre en compte la contribution biogénique des forêts du fait même de l'importance relative de ce type d'émissions. Cette contribution est d'autant plus marquée que ces périodes correspondent à

Tableau I.
Caractéristiques de la zone d'étude et composantes du cadastre.

	Partie française		Partie allemande		Total
	CUS	Hors CUS	Ortenau	Hors Ortenau	
Nbre de communes	27	25	5	3	60
Nbre d'habitants	420 000	40 000	90 000	15 000	585 000
Superficie en km^2	309	218	226	204	957
Composantes du cadastre global transfrontalier					
	PRIMEQUAL 1995 sur la base du cadastre 1990 (1)	PRIMEQUAL 1995	Cadastre 1990 (1) : Strasbourg- Offenbourg	REKLIP 1990 (2)	

(1) PONCHE *et al.*, 1995b ; PPASO, 1995.

(2) PONCHE *et al.*, 1995a ; SCHNEIDER, 1995.

de très faibles émissions dues au chauffage (secteurs résidentiel et tertiaire). De plus, pour la suite de cette étude, une résolution temporelle horaire est adoptée pour la modélisation des épisodes estivaux.

1.4. Les polluants pris en compte

- SO_2 : Le dioxyde de soufre provient essentiellement du soufre contenu dans les combustibles d'origines fossiles (charbon et combustibles pétroliers).
- NO_x : Les oxydes d'azote sont émis principalement lors des processus de combustion.
- COV : Ils regroupent les composés organiques dont la tension de vapeur à température ambiante est suffisamment élevée (valeur seuil aux USA 0,15 Pascal). Par ailleurs, une spéciation des différents COV est prévue pour les besoins de la modélisation qui sera effectuée ultérieurement.
- CO : Le monoxyde de carbone est le résultat de combustions incomplètes (chaudières, véhicules, etc.) et apparaît comme quantitativement le polluant majeur.
- HCl : L'acide chlorhydrique, essentiellement produit lors de la combustion des matières plastiques dans les incinérateurs d'ordures ménagères.

Quant aux poussières, leur caractérisation incomplète (granulométrie, origine et composition chimique) et les lacunes de données rendent ces émissions inexploitable et non significatives.

1.5. Classification des sources d'émissions et méthodes d'évaluations

Pour établir les méthodes de calcul d'émissions, et du fait de la grande diversité des sources, il est nécessaire d'établir plusieurs classifications au niveau des sources d'émissions. Nous nous référons aux classifications de sources déjà adoptées dans le précédent cadastre (PONCHE *et al.*, 1995b). Très brièvement cependant, une première distinction est faite entre les sources naturelles et anthropogénique.

Pour les sources naturelles, nous n'avons considéré que les forêts qui constituent les principaux émetteurs biogéniques de COV. Les émissions de NO_x due à la végétation s'avèrent négligeables par rapport à celles d'origine anthropogénique et n'ont pas été prises en compte. Les émissions de COV des forêts dépendent essentiellement de la température. Ces dernières ont été obtenues à l'échelle horaire pour 1995 auprès de l'ASPA (ASPA 97112701-T-D). Elles sont issues de la station périurbaine de Schiltigheim.

La partie quantitative la plus importante du cadastre concerne les sources anthropogéniques et nous avons adopté la classification suivante

résumée ci-dessous dans le tableau III (identique à celle de PONCHE *et al.*, 1995).

- *Le secteur Logement Résidentiel* regroupe les sources d'émissions qui sont liées à la production d'eau chaude sanitaire (ECS), au chauffage des résidences principales et à l'utilisation domestique de solvants (solvants divers, peintures, produits cosmétiques). La méthode d'évaluation repose sur les données du recensement INSEE 1990 du Bas-Rhin. Les logements (résidences principales) ont été classés en différentes catégories : Le type de logement (maisons individuelles, immeubles collectifs et autres), leur date d'achèvement (avant 1949, entre 1949 et 1974 et après 1974), le type d'installation de chauffage (chauffage central, individuel) et les combustibles utilisés (charbon, fioul domestique, gaz naturel, butane-propane, bois). Pour le cadastre 1995, les données statistiques sur les logements ont pu être réactualisées de 1990 à 1995 mais uniquement en terme de nombre de logements supplémentaires (maisons individuelles, logements collectifs et autres) par commune, car cette mise à jour faite par les collectivités locales ne donne aucune autre précision (répartition des différents modes de chauffage) sur ces logements supplémentaires. Dans cette catégorie figure aussi les émissions dues à l'usage domestique de solvants.
 - *Le secteur Tertiaire* prend en compte les émissions générées par la fonction partielle de logement dans un sens large, à savoir les hôpitaux, maisons de retraite, les établissements d'enseignement, la branche CAHORE (Cafés, Hôtels, Restaurants), les bureaux, etc.
 - *Le secteur Industrie* comprend l'ensemble des activités industrielles. Les données que nous avons pu recueillir nous ont amené à diviser les entreprises du secteur de l'industrie de la CUS en trois catégories :
 1. Les installations classées dont les émissions sont soumises à la taxe parafiscale sur la pollution atmosphérique. Elles constituent les sources ponctuelles et sont répertoriées par la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) d'Alsace.
 2. Les entreprises pour lesquelles nous avons pu obtenir toutes les consommations en combustibles auprès du Ministère de l'Industrie.
 3. Les autres entreprises pour lesquelles aucune donnée de ce type n'a pu être obtenue.
- La méthode adoptée repose sur deux niveaux de données, l'une à l'échelle de la zone d'étude et l'autre à l'échelle du département du Bas-Rhin, afin d'établir des facteurs de consommations de combustibles pour les entreprises de la zone d'étude de la catégorie 3.
- *Le secteur des Transports* à savoir les trafics routier, aérien, ferroviaire et fluvial. Pour chaque mode de transport, il est indispensable d'obtenir les données les plus fines possibles sur les

nombre de déplacements ou de mouvements ainsi que les facteurs d'émissions *ad hoc*.

Nous avons pris en compte les émissions de gaz d'échappement et les pertes par évaporation.

Nous avons distingué quatre grandes catégories de véhicules avec deux carburants différents : les voitures particulières (VP) essence et diesel, les véhicules utilitaires légers (VUL) de poids total roulant (PTR) inférieur à 3,5 t (essence et diesel), les camions de PTR supérieur à 3,5 t (diesel uniquement) et les Bus de transports en commun (TC). Les véhicules fonctionnant au GPL et les deux-roues ont été négligés. L'âge, la puissance et l'existence de systèmes de réduction des émissions (pots catalytiques) sont pris en compte. Les pourcentages de chaque catégorie proviennent des données nationales et régionales du parc véhicule pour 1995.

Nous avons distingué plusieurs catégories de voiries pour chacune desquelles les vitesses moyennes de circulation sont différentes (les autoroutes interurbaines, les autoroutes urbaines, les routes nationales et départementales, les routes à caractère industriel et le réseau urbain des rues). Les grands axes de circulation ont été répertoriés et sont assimilés à des sources d'émissions linéaires (données de la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) pour les grands axes et du Système Intégré de Régulation Automobile Centralisé (SIRAC) de la CUS pour la zone urbaine). Il a fallu ensuite évaluer le trafic en dehors de ces axes principaux, en étudiant les flux entre les différentes zones de la CUS et en incluant les distributions spatiales des densités de logements et donc de population afin d'estimer au mieux les mouvements moyens journaliers annuels.

Les données de trafic et de consommations pour les transports ferroviaire et aérien proviennent respectivement de la Direction Régionale de la SNCF (Strasbourg) et de l'Aéroport International de Strasbourg-Entzheim.

2. Les facteurs d'émissions

Pour calculer les flux de polluants, les facteurs d'émissions jouent un rôle déterminant dans la précision et la fiabilité des résultats. Ils indiquent les flux de polluants émis rapportés en général à la production d'une unité d'énergie pour le Logement et l'Industrie, au kilomètre parcouru ou au mouvement pour le trafic aérien, etc. Ils permettent ainsi de relier les activités avec des flux de polluants. Les facteurs d'émissions utilisés ici sont résumés dans le tableau II.

Facteurs d'émissions pour le Logement Résidentiel : Les facteurs d'émissions qui ont été utilisés sont ceux du précédent inventaire de la zone de Strasbourg hormis ceux du dioxyde de soufre relatif au Fioul Domestique. Les caracté-

ristiques énergétiques des combustibles utilisés pour le chauffage résidentiel et l'ECS n'ont pas évolué de façon notable depuis 1990 sauf pour les teneurs en Soufre.

Facteurs d'émissions pour l'Industrie et le secteur Tertiaire : Du fait de la grande diversité des activités et de la disparité des besoins en énergie, il est souvent nécessaire d'élaborer des facteurs d'émissions pour chaque activité à partir de données existantes et qui sont appliqués aux établissements pour lesquels aucune donnée n'existe.

Facteurs d'émissions pour les Transports :

- Le trafic routier : Les facteurs d'émissions sont issus de « Atmospheric Emissions Inventory Guidebook » (Joint EMEP/CORINAIR) et ont été calculés pour chaque type de voirie compte tenu des pourcentages des différentes catégories de véhicule (composition du parc véhicule local).
- Le trafic ferroviaire : Les facteurs d'émissions sont issus de données du CITEPA.
- Le trafic aérien : Les facteurs d'émissions sont issus des données de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC, 1992), CITEPA (1993) et de « Atmospheric Emissions Inventory Guidebook » (EEA, 1996).

Les facteurs d'émissions relatifs aux forêts : Pour les émissions annuelles, nous avons utilisé des facteurs qui différencient les feuillus des conifères et qui dépendent de la température (VELDT *et al.*, 1988). Pour les peuplements mélangés, les facteurs d'émissions sont calculés au prorata des pourcentages de feuillus et de conifères, ou par défaut en considérant 50 % de chaque espèce.

3. Résultats

Les résultats de l'inventaire des émissions sont résumés dans le tableau III et la figure 1 par secteur d'activité pour les différents polluants. Les émissions de HCl ont été calculées à part et donc ne figurent pas dans le tableau III : elles représentent un total de 841 t/an et sont issues majoritairement du secteur industriel et de l'incinération des ordures ménagères. Un exemple de spatialisation des émissions est donnée dans la figure 2.

4 Discussion et conclusion

Ce second cadastre d'émissions apparaît tout à fait cohérent avec celui de 1990 (figure 3 ; Ponche *et al.*, 1995b) et permet de donner une idée assez précise des émissions annuelles de la partie française. La comparaison qui est faite dans la figure 3 porte sur la zone de la CUS (et non la CUS étendue) exclusion faite des émissions dues au trafic ferroviaire et aux forêts. En effet, le cadastre de 1990 ne concernait que la zone de la CUS sans les deux sources d'émis-

Tableau II.
Facteurs d'émissions utilisés dans le cadre de cette étude.

Caractéristiques des sources			Facteurs d'émissions							
Secteur du logement - Résidentiel										
Type de combustible	Teneur en Soufre (% en masse)	SO ₂ (g/GJ)	NOx (g/GJ)	COV (g/GJ)	CO (g/GJ)					
Fuel	0,2	95	50	15	60					
Gaz naturel	1,35.10 ⁻³	0,5	50	10	100					
Gaz de pétrole liquéfié (Butane, propane)	2,7.10 ⁻³	2	50	25	100					
Bois	<10 ⁻³	5	80	800	7 000					
Charbon (moyenne)	0,9	714	50	400	5 000					
Secteur industriel										
Type de combustible	Teneur en Soufre (% en masse)	SO ₂ (g/GJ)	NOx (g/GJ)	COV (g/GJ)	CO (g/GJ)					
Gaz naturel	1,35.10 ⁻³	0,5	60	1,5	12					
Gaz de pétrole liquéfié (Butane, propane)	2,7.10 ⁻³	2	60	1,5	12					
Fuels lourds ⁽¹⁾	1 ⁽¹⁾	500 ⁽¹⁾	180	8	12					
	2,4 ⁽²⁾	1 200 ⁽²⁾								
Fuel Domestique	0,2	95	100	5	12					
Coke	0,75	470	90	15	493					
Charbon (moyenne)	0,9	714	75	45	493					
Trafic routier ^{(3) (4)}										
Type de voie	Vitesses moyennes (km/h)			% de véhicule			Unités : g/km ⁽³⁾			
	VP, VUL ⁽⁴⁾	PL ⁽⁴⁾	TC ⁽⁵⁾	VP ⁽⁴⁾	VUL	PL, TC	SO ₂	NOx	COV	CO
Autoroute	105	90	/	80,5	10,2	9,4	0,26	2,88	0,6	4,48
R. Nat., R. Départ.	80	60	50	80,5	10,2	9,4	0,21	2,49	0,73	4,65
R. industrielle	70	60	/	69,7	10,2	20,2	0,3	3,54	0,85	4,99
Autor. urbaine	80	60	/	80,5	10,2	9,4	0,21	2,49	0,73	4,65
R. indus. urbaine	50	30	/	69,7	10,2	20,2	0,37	3,58	1,38	7,35
Rue	30	/	16	82,6	17,4	0	0,2	1,66	1,38	7,91
Trafic ferroviaire (traction diesel)										
Type de transport	Consommation (l/km)						SO ₂ (g/km)	NOx (g/km)	COV (g/km)	CO (g/km)
Voyageurs	2,5						11,3	72,8	16,2	36,3
Fret	3						13,6	87,4	19,5	43,6
Sources biogéniques de COV (forêts)										
Espèces végétales							Facteurs d'émissions en (kg/h/km ²) ⁽⁶⁾			
							Diurnes		Nocturnes	
Feuillus							10 ^(0,1Th - 2,15)		10 ^(0,1Th - 2,5556)	
Conifères							10 ^(0,05Th - 0,6815)		10 ^(0,05Th - 0,7593)	

(1) La valeur de 500 g/GJ est valable pour la CUS du fait de son classement en Zone de Protection Spéciale (ZPS) depuis 1990.

(2) La valeur de 1200 g/GJ s'applique à la partie hors CUS de la zone d'étude PRIMEQUAL.

(3) Facteurs d'émissions calculés à partir de « joint EMEP/CORINAIR Emissions Inventory Guidebook (COPPERT 1) » pour 1995 et caractéristiques du parc véhicule du Bas-Rhin (catégorie, âge, puissance...).

(4) VP véhicule particulier, VUL véhicule utilitaire léger, PL poids lourd, TC transports en commun (bus).

(5) Bus assurant les liaisons quotidiennes entre certaines villes de la CUS et la périphérie.

(6) Facteurs d'émissions issus de Veldt et al. (1988).

Tableau III.
Emissions annuelles par secteur d'activité en tonnes par an pour 1995.

Secteurs	Activités	SO ₂ (t/an)	NO _x (t/an)	COV (t/an)	CO (t/an)
Logement - Résidentiel	Chauffage et ECS	1096	865	1631	13 855
	Usage domestiques de solvants ⁽¹⁾	0	0	552	0
	Total secteur Logement - Résidentiel	1096	865	2 183	13 855
Industrie	Sources ponctuelles	6 394	1 874	2120	221
	Autres Industries	388	326	11	50
	Total secteur industriel	6782	2200	2131	271
Tertiaire	Ecoles, Etablissm. Sanitaires et sociaux	98	120	9	97
	Autres activités tertiaires	351	449	23	173
	Total secteur tertiaire	449	569	32	270
Transports	Avion ⁽²⁾	24	165	443	725
	Bateau ⁽³⁾	16	115	5	205
	Train	7	45	10	23
	Routes principales (s. linéaires)	617	6 624	2 150	13 852
	Route/rues (s. surfaciques)	264	2435	1804	10305
	Pertes par évaporation ⁽⁴⁾	0	0	1268	0
	Total secteur Transports	928	9384	5680	25110
Sources biogéniques (Forêts)		0	0	338	0
TOTAL		9255	13018	10364	39506

(1) Valeur estimée selon le facteur d'émissions des COV du CITEPA (Bouscaren et Allemand, 1989). Compte tenu de l'évolution de ces types de produits (contenant des solvants), le facteur d'émissions a été modifié (1,2 kg / hab. / an de COV au lieu de 1,76 kg / hab. / an) pour prendre en compte la diminution des solvants dans certains produits (peintures notamment).

(2) Cycles LTO entre 0 et 1 000 m pour les Aéroports de Strasbourg- Entzheim et Strasbourg-Polygone.

(3) Données de l'inventaire de 1990 pour la CUS.

(4) Valeurs dont une partie au moins des contributions est estimée.

sions mentionnées ci-dessus. Cette comparaison concerne par conséquent les mêmes zones exactement et les mêmes sources d'émissions. L'inventaire 1995 confirme globalement la part prépondérante du trafic routier pour les NO_x, les COV et le CO et de l'industrie pour le SO₂. Pour le secteur Logement - Résidentiel, les émissions de COV et CO avait été sous-évaluées dans l'inventaire de 1990 (Ponche *et al.*, 1995b), par manque de données. Ces lacunes ont été comblées pour l'inventaire présent, mais aussi rétrospectivement pour celui de 1990. Ainsi dans la figure 3, les valeurs d'émissions du secteur Logement - Résidentiel du cadastre 1990 sont des valeurs corrigées d'après les données de 1990 (INSEE, 1990).

Il apparaît quelques tendances intéressantes entre les émissions de 1990 et de 1995 (figure 3). Tout d'abord pour le SO₂ les quantités émises diminuent sensiblement sauf pour le secteur Transports (Tr). L'augmentation du parc de véhicules diesel permet d'expliquer la hausse des émissions pour ce secteur (Tr). La baisse des teneurs en soufre du fioul Domestique pour les secteurs Logement - Résidentiel (L-R) et Tertiaire (Ter), pondérée respectivement par l'augmentation du nombre de logements entre 1990 et 1995 et des données disponibles plus fines pour les établissements permet de justifier cette légère

diminution. Pour l'industrie (Ind), cette baisse peut s'expliquer conjointement par le classement de la zone de Strasbourg en ZPS (Zone de Protection Spéciale) et par l'accroissement de l'utilisation des énergies autres que les fiouls comme source d'énergie industrielles (SESSI, 1997).

Pour les NO_x, les émissions sont sensiblement les mêmes en 1990 et 1995 (compte tenu des incertitudes) pour les secteurs Ter et Ind et en légère augmentation pour le secteur L-R due à l'augmentation du nombre total de logements. Pour le secteur Tr, on observe une diminution nette assez importante (- 11 % pour les NO_x et par rapport à 1990), malgré une augmentation sensible du parc véhicule. Cela peut s'expliquer par l'évolution (modernisation) du parc véhicule (rajeunissement du parc et augmentation des véhicules diesel), sachant que les voitures récentes sont beaucoup moins émettrices de NO_x (véhicules catalysés et consommations moindres) et que les véhicules diesel et que les niveaux d'émissions des moteurs diesel sont plus faibles que ceux des moteurs à essence. En ce qui concerne les COV, on observe des tendances identiques que pour les NO_x pour les secteurs du L-R, Ter et Ind, pour les mêmes raisons. Pour le secteur du Tr, une augmentation (8-9 % par rapport à 1990) qui se justifie par une meilleure prise

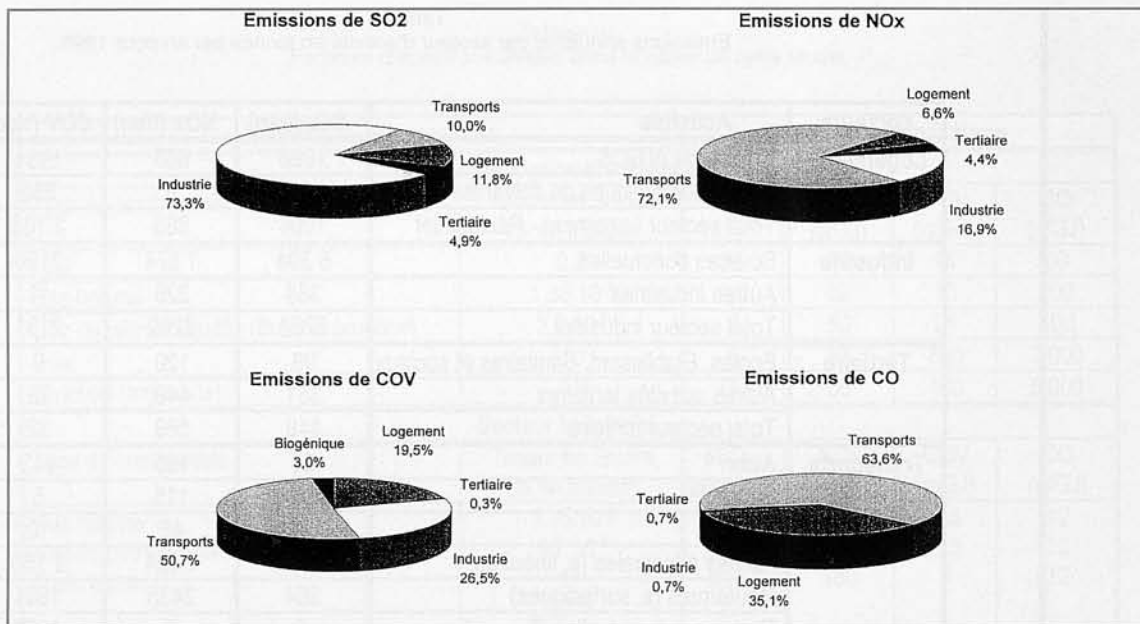


Figure 1.
Distribution relative par secteur (Logement - Résidentiel, Tertiaire, Industrie, Transports) et par polluants pour l'année 1995.
Distribution of the anthropogenic emissions (in %) per activity sector (Residential - Lodgement, Ternary sector, Industry, Transports) per pollutants for the year 1995.

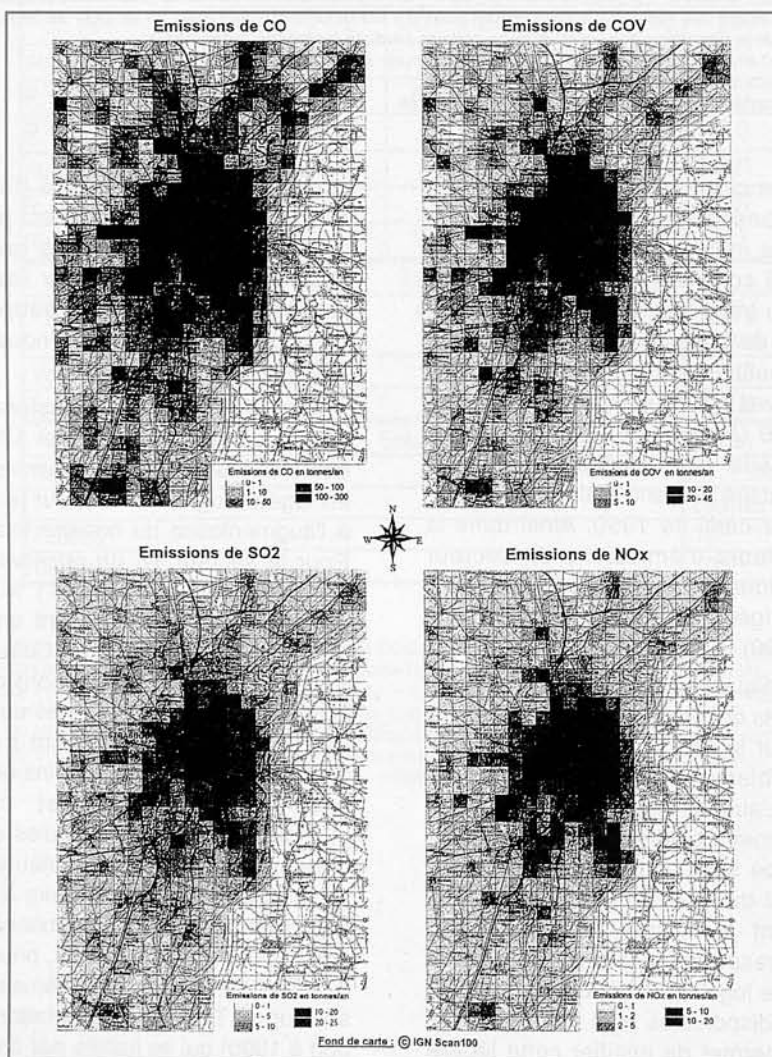


Figure 2.
Emissions annuelles spatialisées de CO, COV, NO_x et SO₂ dues au secteur Logement - Résidentiel pour 1995.
Spatial distribution of the CO, VOC, NO_x and SO₂ emissions due to the Residential - Lodgement sector for 1995.

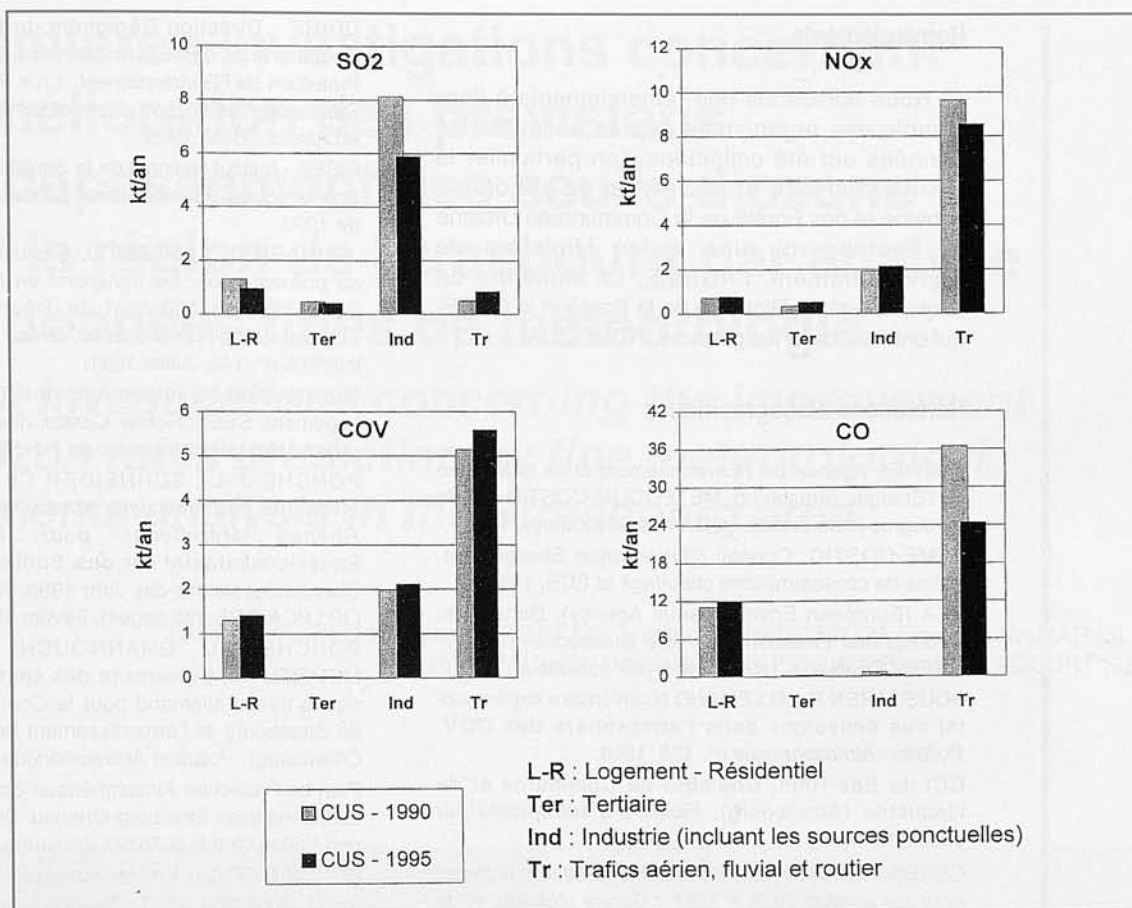


Figure 3.
 Comparaison des inventaires d'émissions de la CUS de 1990 et 1995.
 Comparison between 1990 and 1995 of the emission inventories of the urban community of Strasbourg.

en compte par rapport à 1990 des émissions dues à l'évaporation (essence) pour l'ensemble des véhicules en stationnement (parking, voirie).

Enfin, pour le CO, il n'apparaît aucune évolution notable entre 1990 et 1995, compte tenu des incertitudes, pour les secteurs L-T, Ter et Ind. Pour le secteur Tr, on observe une diminution nettement plus marquée que pour les NO_x (- 33 % par rapport à 1990), qui s'explique : 1) par l'évolution du parc véhicule (cf. NO_x), et 2) par l'aménagement de l'ensemble du centre ville de Strasbourg (zones piétonnes) entre 1990 et 1995. Ceci a eu pour effet de diminuer le trafic routier circulant à très faibles vitesses (10-30 km/h) dans cette partie de l'agglomération et pour lesquelles les facteurs d'émissions (g/km) de CO sont beaucoup plus élevés que pour des vitesses plus importantes (30-50 km/h).

Pour le trafic routier, les facteurs d'émissions « unitaires » et spécifiques sont traités afin de déterminer des facteurs d'émissions propres au parc véhicule local (tableau II) et adaptés aux réalités techniques de l'étude (structure des données disponibles). D'une manière générale, il est important de noter que les facteurs d'émissions utilisés ici ne sont applicables que dans le cadre de l'étude présente, pour l'année 1995 et le

Bas-Rhin. En ce qui concerne les incertitudes, les deux principales sources d'erreurs proviennent des données statistiques utilisées et des facteurs d'émissions. Des facteurs moyens sont souvent utilisés par défaut ce qui induit localement (à l'échelle de la maille kilométrique) des erreurs parfois importantes (30-100 %). Les erreurs relatives varient suivant les catégories de sources et les polluants considérés. Elles demeurent comparables à celles de l'inventaire de 1990 (Ponche *et al.*, 1995b). Il est également dommage que la partie allemande n'ait pu faire l'objet d'une réactualisation similaire. Rappelons enfin que ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude en cours (échéance fin 1998) dont l'objet est d'alimenter en données d'émissions un modèle physico-chimique pour des épisodes de pollution urbaine par l'ozone afin de mieux déterminer l'influence relative des conditions climatiques et des situations d'émissions sur la qualité de l'air urbain.

Mot clés

Inventaire / cadastre d'émissions atmosphériques, facteurs d'émissions, SO₂, NO_x, composés organiques volatils, CO.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à l'ensemble des organismes auprès desquels les données ont été collectées, (en particulier la DRIRE d'Alsace et le Service de l'Ecologie Urbaine et des Forêts de la Communauté Urbaine de Strasbourg) ainsi qu'au Ministère de l'Environnement, l'ADEME, Le Ministère de l'Equipement, le Ministère de la Santé et le CNRS, qui ont financé le Programme PRIMEQUAL.

Références bibliographiques

ADEME - Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Strasbourg; METEOCLIM-COSTIC. Table de degrés-jours unifiés (référence Strasbourg). 1995.

AFME-COSTIC, Conseil d'Orientation Energétique. Ratios de consommations chauffage et ECS, 1991.

EEA (European Environmental Agency), Danemark. *Atmospheric Emission Inventory Guidebook*, JOINT-EMEP/CORINAIR. 1996 (mise à jour partielle en 1997).

BOUSCAREN R., ALLEMAND N. Inventaire expérimental des émissions dans l'atmosphère des COV. *Pollution Atmosphérique* n° 123, 1989.

CCI du Bas-Rhin, Chambre de Commerce et de l'Industrie (Strasbourg). *Fichiers d'entreprises par codes d'activités*.

CEREN ; *Consommation finale énergétique par région pour les années 1988 à 1991* ; Centre d'études et de Recherches Economiques sur l'Energie, Paris, France, 1992.

CITEPA, Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique. *Estimation du parc de véhicules routiers en France Métropolitaine*, 1997.

DDE - Direction Départementale de l'Equipement du Bas-Rhin, Cellule Départementale d'Exploitation et de Sécurité Routière. *Cartes de comptages routiers pour l'année 1995, fichiers de comptages*.

DRASS - Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales. *Fichiers des établissements Sanitaires & Sociaux du Bas-Rhin* (extraits de FINESS).

DRIRE - Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement d'Alsace, Division Protection de l'Environnement, 1 rue P. Montet, F-67082 Strasbourg cedex. *Les rejets et les déchets industriels en Alsace - Bilan 1995*.

INSEE - Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques. *Recensement général de la population de 1990*.

JOUMARD P., LAMBERT J. *Evolution des émissions de polluants pour les transports en France de 1970 à 2010*. Institut National de Recherches sur les Transports et leur Sécurité, Bron, France. Rapport INRETS n° 143, Juillet 1991.

Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, SES - *Fichier Central des Automobiles. Le marché des véhicules, parc au 1-1-1996*.

PONCHE J.-L., SCHNEIDER Ch., MIRABEL Ph. *Inventaire des émissions atmosphériques du Fossé Rhénan Méridional pour l'année 1990*, Emissionskataster für das Südliche und Mittlere Oberrheingebiet für das Jahr 1990. Rapport final REKLIP LPCA-CGS. (88 pages), Février 1995a.

PONCHE J.-L., GHANNOUCHI R., OUDIN V., MIRABEL Ph. L'inventaire des émissions atmosphériques franco-allemand pour la Communauté Urbaine de Strasbourg et l'arrondissement de l'Ortenau (Kehl-Offenbourg). *Pollution Atmosphérique* n° 148, 1995b.

Plan de Protection Atmosphérique Strasbourg-Ortenau, Luftreinhalteplan Strasbourg-Ortenau, Ed. W. Holler Druck und Verlag GmbH D-76227 Karlsruhe, 1995.

SCHNEIDER Ch. *Emissionskataster zur Berechnung der Ausbreitung von Luftschadstoffen*, Thèse, Reihe 15, Umwelttechnik, Nr. 135, eds. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1995.

SIRAC, Système Informatique de Régulation Automatique de la Circulation, Communauté Urbaine de Strasbourg : *Comptages automatiques de la circulation*, 1995.

VELDT C., AXENFELD F., BAKKUM A., EFFINGER H., HULSHOFF J., JANICKE L., MEINL H., MUNCH J., SCHUBERT S., STERN R. *Photochemical Oxidant and Acide Deposition Model Application (PHOXA) : Emission Database*. PHOXA Report I TNO Report Ref. no 88-120 TNO, 7334-DT Apeldoorn, The Netherlands ; 1988.