

# L'inventaire des émissions atmosphériques franco-allemand pour la Communauté urbaine de Strasbourg et l'arrondissement de l'Ortenau (Kehl Offenburg)

## *The French-German atmospheric emission inventory for the urban community of Strasbourg - Ortenau ward (Kehl - Offenburg)*

Jean-Luc PONCHE (\*) (M. de Conf.), Rachid GHANNOUCHI (\*) (Dr), Vincent OUDIN (\*) et Philippe MIRABEL (\*) (Professeur)

### RÉSUMÉ

Dans le cadre du programme de maintien de la qualité de l'air de la région transfrontière Strasbourg-Kehl-Offenbourg, un inventaire des émissions atmosphériques des polluants majeurs (SO<sub>2</sub>, NOx, COV, CO, HCl et poussières) à l'échelle du km<sup>2</sup> a été effectué sur une zone de 610 km<sup>2</sup>. Ce cadastre d'émissions, en relation avec des mesures d'immissions doit permettre d'effectuer dans un premier temps le diagnostic au niveau de la qualité de l'air de cette zone fortement urbanisée, et dans un second temps pourra servir à rendre opérationnels différents modèles méso-échelles de simulation de la physico-chimie troposphérique en accord avec les paramètres climatiques et physico-chimiques mesurés pour des situations synoptiques particulières. Cette contribution a pour but de montrer les différentes étapes de l'établissement de ce cadastre des émissions franco-allemand, la méthodologie utilisée ainsi que les différents résultats obtenus.

### ABSTRACT

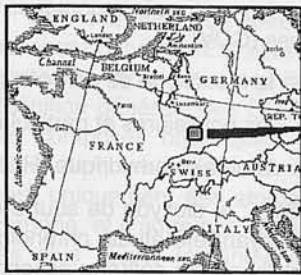
*In the frame of the air quality keeping programme of the transborder region of Strasbourg (Fr)-Kehl-Offenbourg (Germ.), an atmospheric emission inventory of the major pollutants (SO<sub>2</sub>, NOx, VOC, CO, HCl and dust) has been realised, with a spatial resolution of 1 km<sup>2</sup> on an area of 610 km<sup>2</sup>. This area is a very sensitive region on the point of view of the atmospheric pollution. This is due to peculiar geographical situation (in the middle of the upper Rhine valley) which often lead to smog episodes under anticyclonic weather conditions. This inventory, in relation with immissions measurements will allow first, to settle the diagnostic of the air quality of this high urbanized area, and secondly will be able to be used to perform and to improve different mesoscale models to simulate the tropospheric physical-chemistry, according to both climatological and physical-chemical parameters for specific synoptic weather conditions. This purpose of this communication is to describe the different steps of the settlement of this common french-german emission inventory, the used methodologies (including data sources and the emission factors) and to describe the results obtained.*

### 1. Introduction

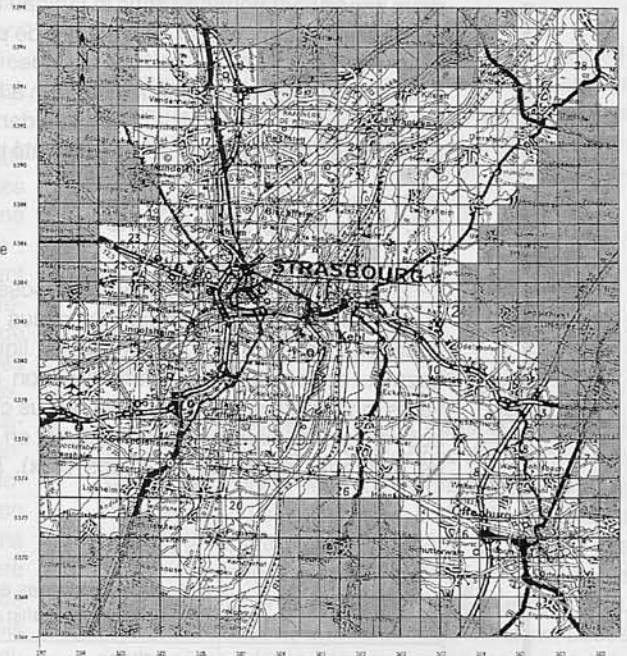
Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme Européen INTERREG 1 et d'un plan de maintien de la qualité de l'air (Luftreinhaltplan) transfrontalier pour la zone de la Communauté Urbaine de Strasbourg et de l'arrondissement de l'Ortenau côté allemand (voir figure 1). Ces plans de maintien de la qualité de l'air sont effectués principalement pour l'ensemble des grandes ag-

glomérations d'Allemagne et il est apparu intéressant pour la région de Strasbourg, d'être associée à une telle étude compte tenu de sa situation géographique particulière. La région du Rhin supérieur, qui englobe au sud les cantons suisses de Bâle, de Berne entre autres, à l'est le Baden Württemberg et à l'ouest l'Alsace, est une unité naturelle géographique qui est encadrée de massifs montagneux (le Jura au sud, la Forêt Noire à l'est et les Vosges à l'ouest) ce qui lui confère des caractéristiques climatiques spécifiques (inversion de température et phénomènes de stagnation des masses d'air). D'autre part, cette région densément peuplée est assez fortement industria-

(\*) Centre de Géochimie de la Surface/Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère, UPR 6251 du CNRS. Université Louis Pasteur de Strasbourg, 28, rue Goethe, F-67083 Strasbourg-Cedex.



Zone d'étude transfrontière  
CUS - Ortenaukreis  
Transborder studied area  
CUS - Ortenaukreis



© MICHELIN, réduction d'après carte n° 278 -  
1<sup>ère</sup> édition 1994, Autorisation n° 95 - 216

Une maille fait 1 km<sup>2</sup>

Figure 1.  
Situation géographique de la zone d'étude CUS - Ortenaukreis.  
Geographical location of the area of interest : CUS - Ortenaukreis.

lisée. Ces facteurs en font une zone particulièrement défavorable et sensible en matière de pollution atmosphérique. L'ensemble de cette région a fait, et fait encore l'objet d'un programme de recherche climatologique Franco-Germano-Suisse (REKLIP), dans lequel notre Laboratoire est impliqué sur le thème des émissions atmosphériques et de la modélisation de la physico-chimie de l'atmosphère [1].

Le présent travail est une synthèse des études réalisées sur les émissions annuelles pour l'année 1990 de part et d'autre du Rhin, incluant les différentes catégories de sources de polluants atmosphériques avec une résolution spatiale du kilomètre carré. Ce cadastre fait partie intégrante d'un plan de protection de l'air dans lequel un cadastre des immissions (mesures in situ de la qualité de l'air) est également constitué. L'ensemble de ces travaux sert déjà à l'heure actuelle de base à la définition d'un plan d'action commun pour la zone, destiné à réduire la pollution de l'air. L'intérêt d'une telle étude, à savoir la réalisation d'un cadastre transfrontalier des émissions anthropogéniques sur la zone Strasbourg-Kehl-Offenbourg est d'acquiescer les données nécessaires concernant la distribution spatiale des émissions, afin de permettre des modélisations ultérieures de la physico-chimie atmosphérique [2]. L'enjeu est, à court et moyen terme, la mise au point d'un outil opérationnel com-

mun en matière d'aménagement du territoire et de la gestion et de la maîtrise de l'environnement atmosphérique. La réalisation de cette étude a été effectuée par les différents organismes suivants :

- L'UMEG (Gesellschaft für Umweltmessung und Umwelterhebungen mbH Karlsruhe) pour les cadastres d'émissions et d'immissions en Allemagne,
- l'Association pour la Surveillance et l'Etude de la Pollution Atmosphérique en Alsace (ASPA Strasbourg) pour le cadastre des immissions en France,
- le Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère (LPCA-CNRS) de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg pour l'inventaire des émissions en France et la fusion des cadastres des émissions allemand [3] et français [4].

### 1.1. Zone d'étude

Le secteur transfrontalier Strasbourg-Kehl-Offenbourg comprend le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) pour la partie française de la zone d'une part, et l'arrondissement (Kreis) de l'Ortenau qui englobe les villes de Kehl et d'Offenbourg pour le côté allemand d'autre part, soit un carré d'environ 30 kilomètres de côté de part et d'autre du Rhin. Les caractéristiques des

deux zones sont données dans le tableau I. Il a été nécessaire pour effectuer ce cadastre de procéder à un découpage de la surface d'étude. Pour ce faire, un maillage kilométrique commun à l'ensemble de la zone a été établi au préalable dans lequel les données d'occupation des sols ont été incluses.

## 1.2. Polluants pris en compte

Les polluants étudiés sont les composés chimiques classiques émis lors des processus de combustion (combustibles fossiles solides, liquides ou gazeux, déchets) ou lors de l'utilisation des solvants industriels et domestiques les plus courants. Les rejets sont exprimés généralement en quantité de polluants par unité de temps (flux). Les pol-

luants émis considérés dans cette étude sont regroupés en 6 composés ou famille de composés, qui sont :

- les oxydes d'azote (NOx),
- les composés organiques volatils non méthaniques (COV),
- le monoxyde de carbone (CO),
- les poussières et particules en suspension,
- l'acide chlorhydrique (HCl).

**SO<sub>2</sub>** : le dioxyde de soufre est le premier polluant ayant été étudié chronologiquement. Il provient du soufre contenu essentiellement dans les combustibles d'origines fossiles. Les quantités émises sont exprimées en tonnes par an.

Tableau I.

Liste des communes et caractéristiques de la CUS et de l'Ortenaukreis.  
List of the township and characteristics of the CUS - Ortenaukreis area.

Zone CUS		Zone Ortenaukreis	
Commune	Nombre d'habitants*	Commune	Nombre d'habitants**
Bischheim	16 330	Kehl	29 570
Eckbolsheim	5 260	Offenburg	52 480
Eckwersheim	1 110	Rheinau	9 930
Entzheim	1 800	Schutterwald	440
Eschau	3 830	Willstätt	660
Fegersheim	3 950		
Geispolsheim	5 550		
Hoenheim	10 570		
Holtzheim	2 290		
Illkirch-Graffenstaden	22 310		
Lampertheim	2 620		
Lingolsheim	16 500		
Lipsheim	1 770		
Mittelhausbergen	1 430		
Mundolsheim	4 700		
Niederhausbergen	1 210		
Oberhausbergen	3 020		
Obershaeffolsheim	2 040		
Ostwald	10 200		
Plobsheim	3 310		
Reichstett	4 640		
Schiltigheim	29 150		
Souffelweyersheim	5 590		
Strasbourg	252 270		
Vendenheim	5 190		
Wantzenau	4 400		
Wolfisheim	2 680		
27 communes	soit 423 700 habitants	5 communes	soit 106 000 habitants
réparties sur 309 km <sup>2</sup>		réparties sur 303 km <sup>2</sup>	

\* INSEE, Bas-Rhin, 1991.

\*\* Sources : Statistische Landesamt Baden, Württemberg, 1990.

**NOx** : les oxydes d'azote NO et NO<sub>2</sub> sont formés lors des processus de combustion. Ils sont dus à l'oxydation de l'azote à température élevée. Les quantités émises de NOx sont exprimées en équivalent NO<sub>2</sub>.

**COV** : la notion de composé organique volatil est assez générale. Elle peut varier en fonction des contextes. Nous nous sommes appuyés sur une définition générale des COV qui est la suivante : les composés organiques volatils comprennent d'une part, les hydrocarbures (molécules contenant uniquement des atomes d'hydrogène et de carbone, et d'autre part les composés organiques les plus divers (organo-chlorés, nitrés, fluorés, phosphorés etc.) ayant des tensions de vapeur saturante élevées à température ambiante (forte tendance à s'évaporer). Nous les considérons ici globalement sans nous attacher à leur composition chimique. Le méthane est exclu des COV dans cette étude car sa présence est dans l'atmosphère essentiellement d'origine naturelle, de même que tous les COV émis par la végétation, même s'ils jouent un rôle dans les processus physico-chimiques de la troposphère.

**CO** : le monoxyde de carbone est le résultat de combustions incomplètes (chaudières, véhicules, etc.).

**Poussières** : cette terminologie englobe toutes les particules solides en suspension dans l'atmosphère issues des activités humaines, les métaux lourds sont en général présent dans les poussières (particules de plomb issues de certains carburants automobiles). Cette catégorie d'émissions est la plus difficile à cerner du fait des données très fragmentaires existantes.

**HCL** : l'acide chlorhydrique est essentiellement produit lors de la combustion des matières plastiques dans les incinérateurs d'ordures ménagères.

### 1.3. Les secteurs étudiés

Pour établir le cadastre des émissions, trois secteurs regroupant l'ensemble des sources anthropogéniques ont été définis.

#### a) Le secteur logement

Il est constitué non seulement par les logements au sens strict du terme mais aussi par d'autres activités assurant une fonction partielle de logement : hôpitaux, maisons de retraite, écoles, les bureaux du secteur tertiaire. Les émissions de COV sont, dans ce secteur, dues aussi à l'usage domestique de solvants (utilisation de solvants et de peintures, de produits cosmétiques).

#### b) Le secteur transport

Ce secteur inclut le transport aérien (aéroport d'Entzheim, aérodrome du Polygone), le transport fluvial sur le Rhin et enfin le transport routier constitué par les voitures particulières et l'ensemble des véhicules utilitaires (camionnettes et camions) et si nécessaire le transport ferroviaire.

#### c) Le secteur industrie

Il comprend l'ensemble des activités industrielles mais aussi le secteur « artisanal ». Les activités industrielles sont divisées en 2 catégories suivant l'importance de leurs émissions : les sources ponctuelles (gros émetteurs localisés) et les autres générant des émissions plus diffuses.

## 2. Comparaison des méthodes d'évaluation par secteur

### 2.1. Le logement

Pour les logements situés dans la CUS, nous avons utilisé une base de données du recensement 1990 nous donnant des informations très précises [5]. Nous avons pu ainsi connaître la densité d'habitants au km<sup>2</sup>, la répartition des logements en fonction des types de combustibles utilisés pour le chauffage, de l'âge des bâtiments et du type de bâtiment (maison, immeuble collectif, ...). Nous nous sommes basés sur la méthodologie mise au point dans le cadre du programme REKLIP [6]. Pour les hôpitaux et les entreprises du secteur tertiaire nous avons obtenu les listes nominatives et leur localisation. Ceci nous a permis de les répartir très précisément sur le maillage appliqué sur la zone de la CUS.

En ce qui concerne l'Ortenaukreis, les calculs ont été réalisés en utilisant les données statistiques sur les communes, les entreprises fournissant l'énergie et les combustibles pour ce secteur et les autres institutions en rapport avec ce secteur [7]. A ce dernier, appartiennent toutes les installations de combustion qui ne sont pas soumises à autorisation. Sous ce vocable entrent les installations de chauffage, la production d'eau chaude pour les bâtiments publics, résidentiels, commerciaux, ainsi que pour les hôpitaux. Y sont incluses également les émissions relatives à la production de chaleur dans le domaine artisanal.

D'une manière générale, nous avons commencé par le calcul des besoins en énergie (tableau II et figure 2) concernant ce secteur pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, produits à partir de combustibles générant des émissions « in situ ». Ne sont considérés dans ce secteur, ni les locaux chauffés à l'électricité, ni ceux raccordés à des centrales thermiques (réseaux urbains de chaleur). Ces besoins ont été déterminés en tenant compte des différents types de logements/locaux pour l'année 1990 (catégories : logements collectifs, maisons individuelles, locaux à usage commerciaux, hôpitaux, écoles, etc., dates d'achèvement, combustibles utilisés) [3], [8-9].

### 2.2. Le transport

Dans cette catégorie sont compris tous les modes de transport à savoir le transport routier, fluvial, ferroviaire, et aérien. Les émissions de ce secteur sont établies à partir de méthodes d'évaluation et

Tableau II.  
 Besoins en énergie fournie par les chauffages avec combustion en GJ/an.  
*Energy needs furnished by the heatings using combustion processes in GJ/year.*

Combustibles	Immeubles et maisons CUS	Logements « autres »* CUS	Total CUS	Ortenau Kreis	Total
Gaz	5 242 000	1 744 000	6 986 000	1 256 400	8 242 400
GPL**	45 000	27 000	72 000	0	72 000
Fioul	5 803 000	928 000	6 731 000	2 829 600	9 560 600
Charbon	81 000	33 000	114 000	68 400	182 400
Bois	149 000	162 000	311 000	86 400	397 400
Total	11 320 000	2 894 000	14 214 000	4 240 800	18 454 800

\* Logements « autres » sur la CUS : logements dont la répartition des besoins énergétiques en fonction des différents combustibles est estimée de façon statistique.  
 \*\* Gaz de Pétrole Liquéfié.

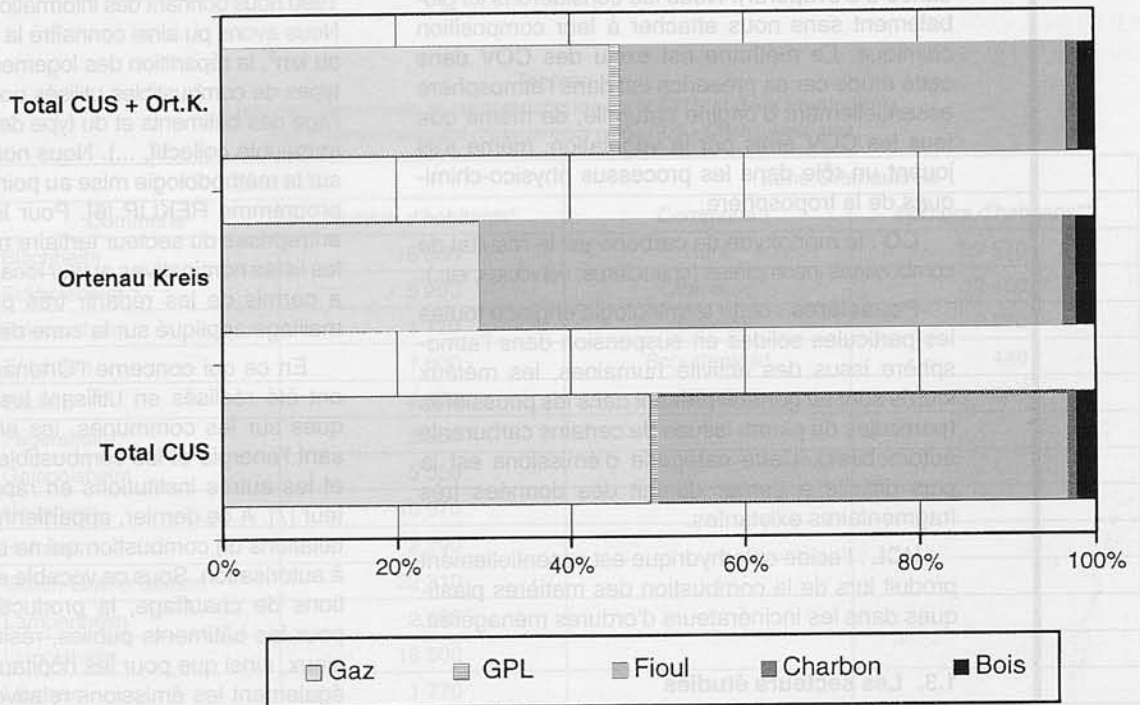


Figure 2.  
 Répartition des besoins d'énergie en fonction des combustibles sur la zone d'étude.  
*Distribution of the energy needs in function of the fuels for the whole studied area.*

d'estimation. En ce qui concerne le secteur fluvial les données du trafic ont été recueillies auprès du port autonome de Strasbourg. Pour le trafic aérien, les émissions avaient déjà fait l'objet d'une étude précédente au Laboratoire [10-12]. Le trafic routier a été étudié en utilisant une méthodologie plus spécifique, au moins en ce qui concerne les agglomérations, que celle qui avait été employée dans le cadre de REKLIP [13]. Pour cela, il nous a été nécessaire d'obtenir davantage de données concernant le recensement des déplacements automobiles (comptages routiers) ainsi que les vitesses moyennes de circulation sur la zone d'étude. Les facteurs d'émissions ad hoc ont ensuite permis le calcul des émissions.

### 2.2.1. Méthode française de calcul des émissions

Dans l'étude sur la CUS, deux catégories de véhicules ont été définies : les voitures particulières (Poids Total Roulant < 3,5 t) et les véhicules utilitaires (camionnettes, camions : PTR > 3,5 t).

– Le trafic des automobiles est estimé grâce aux comptages [14-15] et au rapport « Enquête Ménage 1990 » de l'ADEUS (Agence de Développement et d'Urbanisme de l'Agglomération Strasbourgeoise) relatif à la CUS.

– Le trafic des camions est estimé à l'aide du rapport entre le trafic des camions et voitures sur les axes pour lesquels ces informations sont disponibles.

Pour établir un modèle de circulation sur la CUS, l'enquête ménage de l'ADEUS nous a donné le nombre de mouvements entre les différentes parties de la CUS. Les grands axes de circulation ont été répertoriés et sont assimilés à des sources d'émissions linéaires. Les autoroutes ont été considérées comme utilisées préférentiellement par les usagers pour se déplacer. Par ailleurs, le trafic dit de proximité, c'est à dire sur les petites rues et petites routes, a été réparti d'après la densité de population. Enfin, les axes de circulation ont été répartis en deux catégories. Pour la première (autoroutes urbaines), les facteurs d'émissions utilisés sont ceux correspondant à la vitesse moyenne de 89,2 km/h. Pour la seconde catégorie (circulation en agglomération), les facteurs d'émissions correspondent d'une part à une vitesse moyenne de 30 km/h sur les grands axes et d'autre part, une vitesse moyenne de 24 km/h pour les déplacements sur les rues et voies de moindre importance.

#### 2.2.2. Méthode allemande de calcul des émissions

L'étude sur le trafic automobile sur l'Ortenau Kreis a été effectuée en considérant le taux d'utilisation des véhicules et des voiries, paramètre qui a été estimé grâce aux données fournies par les entreprises livrant les carburants ainsi que par des comptages routiers [7, 16]. Pour cette étude, un classement en trois catégories de véhicules a été utilisé : les voitures particulières, les véhicules utilitaires (camionnettes) et les camions (poids lourds). Le réseau routier de la zone d'étude est divisé en sources linéaires (axes principaux) et en sources surfaciques (zones résidentielles). Pour chaque type de source, sont établies les données de circulation (fluidité, vitesse) en relation avec les catégories de véhicules, la direction suivie ainsi que le déroulement journalier, hebdomadaire et annuel [17]. A partir de facteurs d'émissions spécifiques, sont calculées les émissions pour chacune des classes qui sont ensuite agrégées en valeurs annuelles. Ce modèle est très fin car une distinction a été faite entre les différents axes routiers, qui ont été découpés afin de mieux représenter le trafic sur les 267 km de grands axes (375 tronçons) et les 116 sources surfaciques pour les zones résidentielles.

### 2.3. L'industrie

#### 2.3.1. Les industries de la CUS

Les entreprises de la CUS ont été divisées en deux catégories :

- les sources ponctuelles sont les gros émetteurs d'effluents atmosphériques. Elles ont été répertoriées par la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) d'Alsace qui gère la taxe parafiscale appliquée en fonction des quantités et de la nature des polluants émis [18] ;
- les autres entreprises sont classées par secteur d'activité. Les données ont été recueillies au-

près de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Strasbourg [19]. Des facteurs d'émission spécifiques calculés sont attribués pour chaque secteur d'activité [20-21], suivant les procédés de fabrication. Ces facteurs permettent finalement le calcul des contributions de chaque entreprise.

#### 2.3.2. Les industries sur l'Ortenau-Kreis

La répartition des industries sur l'Ortenau-Kreis se base sur la distinction entre les entreprises soumises à autorisation (70 établissements) et celles qui ne le sont pas (292 entreprises artisanales).

#### Les entreprises soumises à autorisation

Les déclarations des émissions des installations soumises à autorisation au titre du 4. BlmSchG. : (§ 46 BlmSchG : Bundes Immissionschutz Gesetz : loi fédérale sur la protection atmosphérique) ont été effectués par les exploitants de telles installations [3]. Les données ainsi recueillies contiennent des informations sur les installations à l'origine des émissions, les sources d'émissions, les conditions de rejets, la nature et l'importance des procédés générant les émissions, le comportement de ces émissions ainsi que les composés rejetés et leurs flux. L'exploitation des déclarations des émissions fournit une répartition spatiale et temporelle des émissions sur la zone étudiée.

#### Les entreprises de type artisanal

Dans ce groupe sont recensées toutes les installations du domaine industriel et artisanal non soumises à autorisation (hormis les installations de combustion), comme par exemple les entreprises de nettoyage à sec, de traitements de surface, d'extraction par solvants halogénés (2. BlmSchV), de traitement et transformation du bois (7. BlmSchV). En font également partie les stations services, les imprimeries, les ateliers de peinture, les dépôts d'hydrocarbures, les moteurs fixes à combustion interne (groupes électrogènes de secours par exemple) ainsi que toutes entreprises industrielles non soumises à déclaration des émissions selon le 4. BlmSchV, comme par exemple les petits moulins pour denrées alimentaires et aliments pour bétail ou encore les petites friteries et fumoirs.

### 3. Les facteurs d'émissions

Le calcul des émissions de polluants a été effectué à l'aide de facteurs d'émissions spécifiques. Ils indiquent les flux de polluants émis rapportés en général soit à la production d'une unité d'énergie (le GJ par exemple) pour le logement et l'industrie, soit au kilomètre parcouru pour le transport.

Les différences entre les facteurs d'émissions français et allemands, notamment en ce qui concerne le secteur du logement proviennent de la méthode de détermination de ces facteurs. Ils représentent des moyennes nationales qui prennent en compte entre autres paramètres, la pondération des différents combustibles utilisés (origine, teneurs

Tableau III.

Les facteurs d'émission en g de polluant par GJ d'énergie consommée pour le secteur du logement pour la France et l'Allemagne.

*Emission factors in g of pollutant per GJ of used energy for the household sector for France and Germany.*

	SO <sub>2</sub> (val. Fr. - val. All.)	NOx (val. Fr. - val. All.)	COV (val. Fr. - val. All.)	CO (val. Fr. - val. All.)	Poussières (val. Fr. - val. All.)
Charbon (moyenne)	714-145	50-92	400-430	5 000-4 440	250-236
Fuel	143-85	50-50	15-10	60-30	2-1,5
Gaz naturel	0-0,5	80-51	10-4	100-60	0-0,1
Bois	0-1	80-50	800-800	7 000-6 000	300-200

en soufre, etc.) et les dispositifs de combustion (chaudières) utilisés. Les facteurs utilisés pour la France apparaissent plus comme des valeurs maximales que ceux utilisés outre Rhin qui se rapprochent davantage de valeurs moyennes.

### 3.1. Facteurs d'émissions pour le logement

Seuls les combustibles les plus couramment employés ont été pris en compte. Les différences de valeurs entre la France et l'Allemagne proviennent essentiellement du fait que ces facteurs sont issus de moyennes nationales et ne tiennent pas compte des caractéristiques locales spécifiques. Les facteurs qui figurent dans le tableau III correspondent respectivement aux valeurs prises en compte pour la France et pour l'Allemagne [3, 22-23]. Par ailleurs, il est bien évident que les logements bénéficiant du chauffage électrique et ceux reliés à un réseau de chaleur ne sont pas pris en compte. Ces émissions sont prises en compte dans la catégorie des sources ponctuelles industrielles (centrales thermiques, etc.).

### 3.2. Facteurs d'émissions pour le transport SOC

Pour le trafic routier, les graphiques de la figure 3 page suivante illustrent le profil de consommation des voitures particulières ainsi que leurs facteurs d'émissions de SO<sub>2</sub>, NOx, COV, CO et poussières relatifs aux situations de circulation caractéristiques qui ont été utilisés. Ces conditions de circulation sont mentionnées dans les graphiques de la figure 3 par des vitesses moyennes représentati-

ves. Les valeurs allemandes et françaises sont toutes deux calculées à partir de l'ensemble des véhicules « essence et diesel » à partir des facteurs d'émissions allemands [24-25] sauf en ce qui concerne les poussières. Les valeurs des facteurs d'émissions sont légèrement différentes du fait de la répartition différente essence-diesel du parc automobile entre les deux pays (respectivement 9,1 % de voitures diesel pour l'Allemagne et 14,9 % pour la France).

Les facteurs d'émissions de poussières divergent au delà de 60 km/h entre l'Allemagne et la France. Cela s'explique du fait qu'en Allemagne, seules les faibles émissions spécifiques des véhicules fabriqués après 1985 ont été prises en considération. En France les facteurs d'émissions ont été complétés à l'aide des données de l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité) [26].

Pour ce qui est des autres moyens de transport, qui représentent moins de 2,5 % des émissions totales de ce secteur, les facteurs d'émissions ont été recueillis soit auprès des organismes concernés ; SNCF pour les chemins de fer et le Port Autonome de Strasbourg pour les bateaux ; soit sont issus d'études précédemment réalisées au laboratoire comme dans le cas du trafic aérien [12].

### 3.3. Facteurs d'émissions pour les industries

Les facteurs qui ont été utilisés sont issus de publications notamment du « Default Emission Factor Handbook » [22] pour les valeurs françaises et sont indiqués dans le tableau IV. Le calcul

Tableau IV.

Les facteurs d'émissions pour le secteur de l'industrie pour la France en g de polluant par GJ d'énergie produite (entre parenthèse figurent les valeurs indicatives pour l'Allemagne).

*Emission factors for the industry sector for France in g of pollutant per GJ of produced energy (in brackets are mentioned the indicative values for Germany).*

	SO <sub>2</sub>	NOx	COV	CO	Poussières
Fuel	143 (85)	100 (50)	5 (10)	12 (30)	6 (1,5)
Fuels lourds	1 250	180	8	12	33
Gaz naturel	0,5 (0,5)	60 (51)	1,5 (4)	12 (60)	6 (0,1)
Charbon (moyenne)	714 (145)	75 (92)	45 (430)	185-800 (4 400)	25 (236)

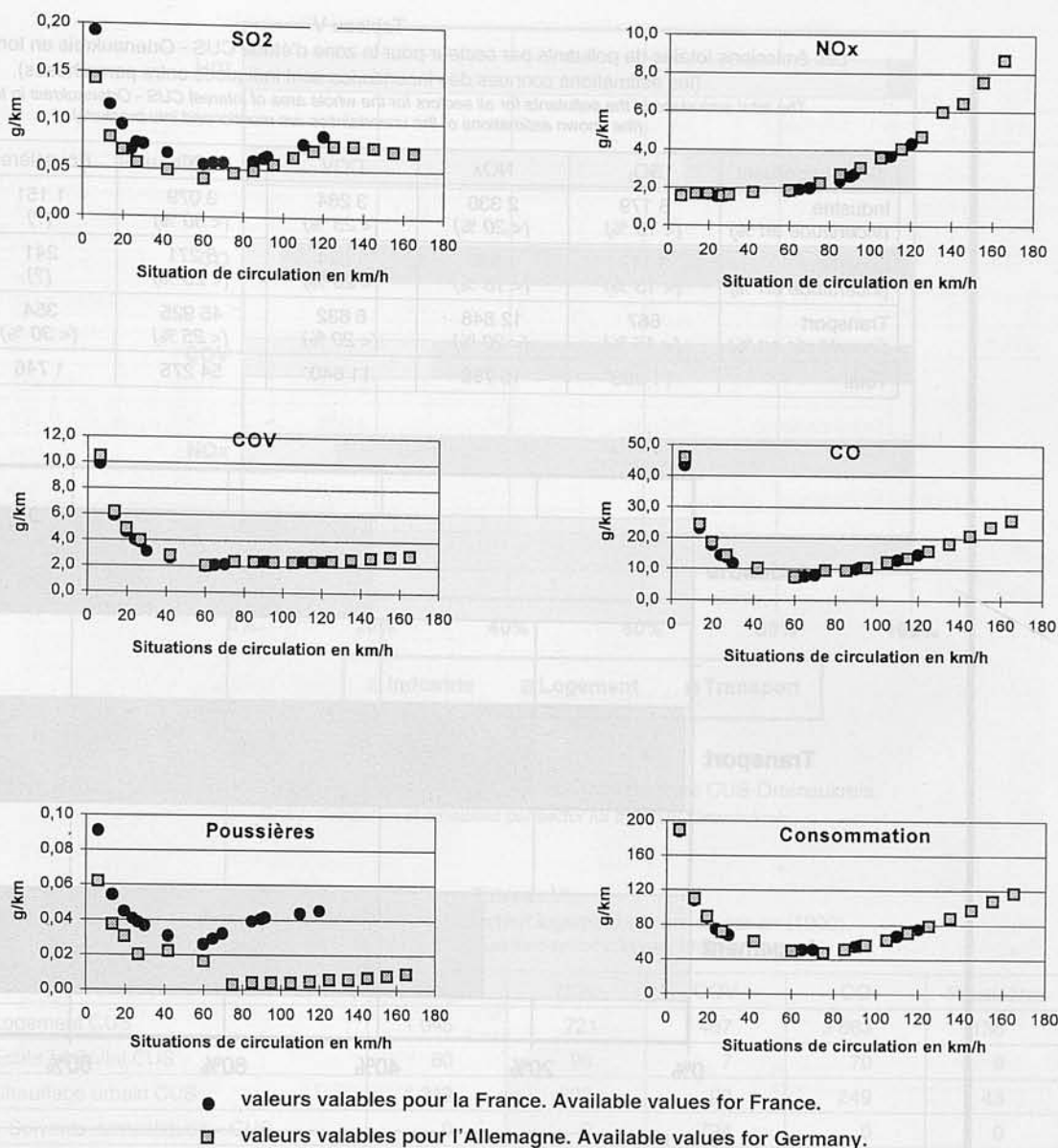


Figure 3.

Facteurs d'émissions des différents polluants et consommation pour l'ensemble du parc véhicule en fonction des situations de circulation utilisés pour la zone CUS-Ortenaukreis.

Emission factors of the different pollutants and consumption for all the vehicles in function of the driving modes used in the CUS-Ortenaukreis area.

des émissions dues à l'industrie pour l'Allemagne, a été effectué en fonction de la puissance des installations de combustion et par conséquent les valeurs des facteurs d'émissions indiquées dans ce tableau ne sont qu'indicatives et n'ont pas servi directement pour le calcul des émissions allemandes.

#### 4. Résultats des calculs d'émissions

Les résultats obtenus sur l'ensemble de la zone ont été résumés dans le tableau V et les figures 4 et 5. Ils permettent d'apprécier les contributions

respectives des différents secteurs ainsi que la répartition des polluants pour chacun d'eux. Cependant il nous a également paru intéressant de donner quelques détails concernant les émissions pour chacun des trois secteurs.

##### 4.1. Le logement (cf. tableau VI)

Les émissions ont été déterminées à l'échelle de chaque commune puis spatialisées à l'échelle du maillage kilométrique. Les valeurs relatives aux communes de la CUS ne comprennent que les émissions dues au chauffage et à la production

Tableau V.

Les émissions totales de polluants par secteur pour la zone d'étude CUS - Ortenaukreis en tonnes pour 1990  
(les estimations connues des incertitudes sont indiquées entre parenthèses).  
The total emissions of the pollutants for all sectors for the whole area of interest CUS - Ortenaukreis in tons for 1990  
(the known estimations of the uncertainties are mentioned into brackets).

Secteur/polluant	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV	CO	Poussières	HCl
Industrie (incertitude en %)	8 179 (< 15 %)	2 330 (< 20 %)	3 284 (< 25 %)	3 079 (< 30 %)	1 151 (?)	1 759 (< 15 %)
Logement (incertitude en %)	3 119 (< 13 %)	1 588 (< 18 %)	1 524 (< 20 %)	5 271 (< 20 %)	241 (?)	75 (< 15 %)
Transport (incertitude en %)	667 (< 15 %)	12 848 (< 20 %)	6 832 (< 20 %)	45 925 (< 25 %)	354 (< 30 %)	0
Total	11 965	16 766	11 640	54 275	1 746	1 834

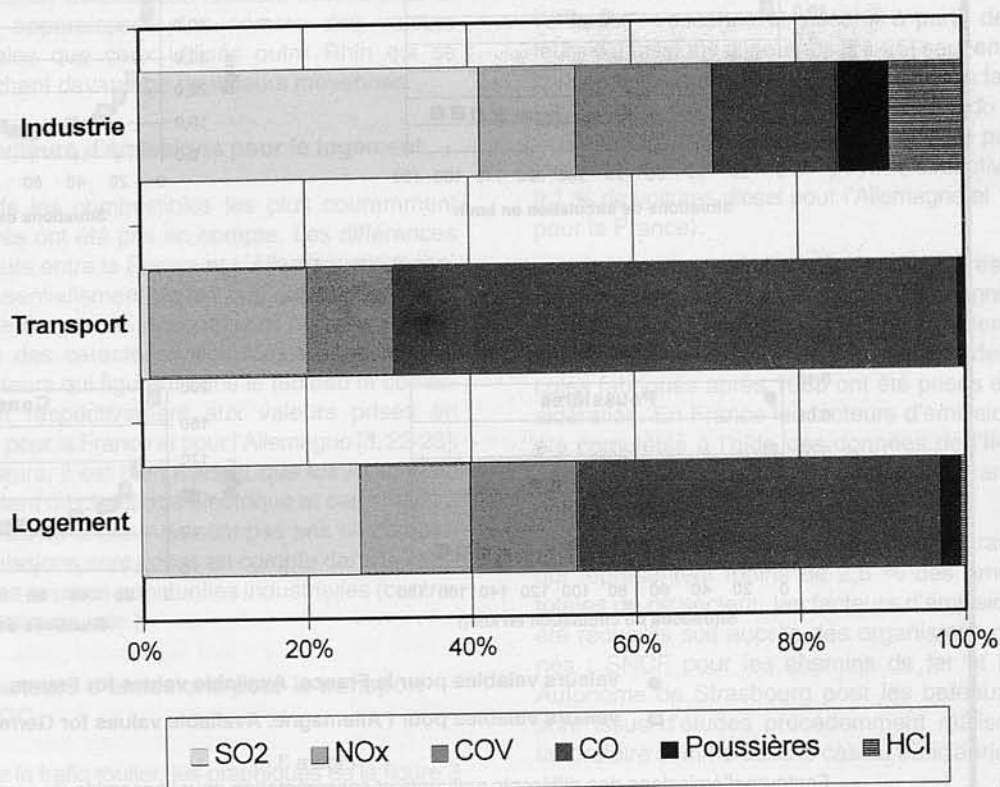


Figure 4.  
Emissions totales (CUS et Ortenaukreis) en poids % par secteur.  
Total emissions (CUS and Ortenaukreis) in weight % for each sector.

d'eau chaude sanitaire pour les logements d'habitation seuls. Les valeurs pour les communes allemandes comportent quant à elles toutes les émissions du secteur logement (hôpitaux, habitations, écoles...) ainsi que les émissions des installations de combustion utilisées dans le secteur artisanal.

#### 4.2. Les transports (cf. tableau VII)

Il apparaît que les émissions dues au trafic routier représentent la quasi totalité des émissions totales (98 %) de polluants du secteur transport sur la zone CUS - Ortenaukreis (voir figure 6). Egalement, en ce qui concerne le trafic routier en agglomération

côté français, nous avons élaboré une « matrice » des déplacements urbains qui nous a permis de répartir les émissions sur la CUS [4].

#### 4.3. Les industries

Le calcul des émissions issues de l'industrie a été effectué à partir de la même méthodologie que celle utilisée dans le programme REKLIP [12-13] et seules les caractéristiques des émissions industrielles propres à la zone d'étude ont été affinées puis comparées avec les valeurs REKLIP, au moins en ce qui concerne la partie française. La spatialisation des émissions au niveau des mailles

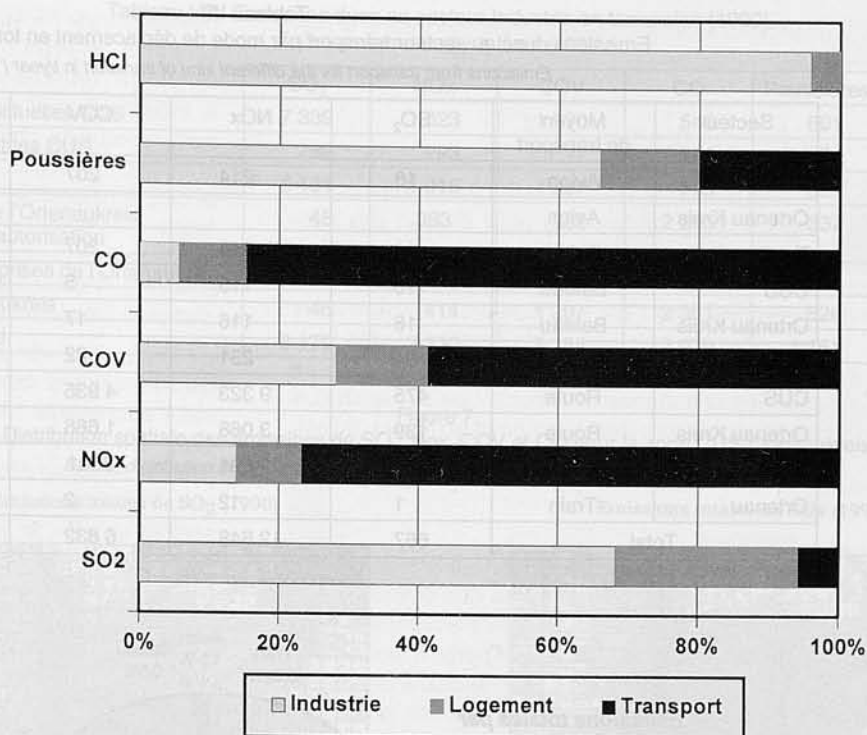


Figure 5.  
Répartition globale des émissions par secteur pour la zone CUS-Ortenaukreis.  
Global distribution of emissions per sector for the CUS-Ortenaukreis.

Tableau VI.  
Résultats pour l'ensemble du secteur logement en tonnes par an (1990).  
Results for whole household sector in t/year (1990).

Synthèse	SO <sub>2</sub>	NOx	COV	CO	Poussières
Logement CUS	1 045	721	467	3 863	136
Ecole + hôpital CUS	80	98	7	70	9
Chauffage urbain CUS	1 349	303	20	249	43
« Solvants domestiques » CUS	0	0	724	0	0
Tertiaire CUS	394	250	16	115	16
Total CUS	2 868	1 372	1 234	4 297	204
Ortenaukreis	251,6	216,4	132,4	974,4	37,7
« Solvants domestiques » Ortenaukreis *	0	0	158	0	0
Total Ortenau K.	251	216	290	974	37
Total général	3 119	1 588	1 524	5 271	241

\* Valeur estimée pour l'Ortenau Kreis, selon le même facteur d'émissions que celui utilisé pour la CUS : 1,757 kg de COV par habitant et par an pour le secteur logement d'après BOUSCAREN et ALLEMAND, 1989, [27].

de la zone a été effectuée à partir des données d'occupation des sols [4]. Les résultats des calculs d'émissions globales dues à ce secteur ont été résumés dans le tableau VIII.

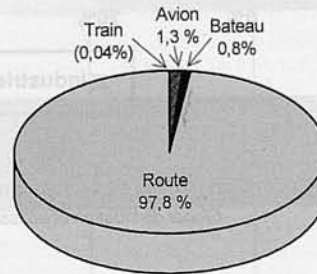
L'incertitude sur les valeurs d'émissions pour chacun de ces secteurs est donnée à titre indicatif (sauf pour les poussières où trop de lacunes figurent pour estimer même les incertitudes). Il s'agit d'estimations qui prennent en compte les incertitudes sur les consommations d'énergie (logement et industrie) ou sur les comptages du trafic (secteur

transport) ainsi que celles sur les facteurs d'émissions. Par ailleurs les cartes de distributions spatiales de ces émissions ont été élaborées avec une résolution spatiale du km<sup>2</sup> pour chacun des polluants pour chaque secteur d'émission et pour la somme de l'ensemble de ces contributions (20 cartes en tout). Il serait fastidieux de toutes les faire figurer ici. Nous ne donnons ici que les distributions globales sur la zone CUS-Ortenaukreis des principaux polluants : SO<sub>2</sub>, NOx, COV et CO (figure 7) à titre d'exemple. Concernant les poussières, les

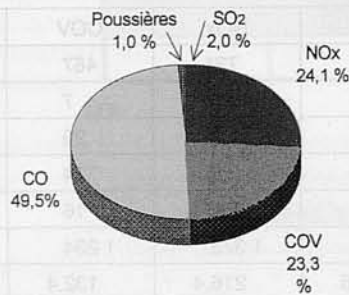
Tableau VII.  
Emissions dues au secteur transport par mode de déplacement en tonnes/an (1990).  
*Emissions from transport for the different kind of transport in t/year (1990).*

Secteur	Moyen de transport	SO <sub>2</sub>	NOx	COV	CO	Poussières
CUS	Avion	18	214	207	421	9
Ortenau Kreis	Avion				19	0
Total	Avion	18	214	207	440	9
CUS	Bateau	16	115	5	205	5
Ortenau Kreis	Bateau	18	116	17	40	0
Total	Bateau	34	231	22	245	5
CUS	Route	475	9 323	4 935	35 861	170
Ortenau Kreis	Route	139	3 068	1 666	9 374	168
Total	Route	614	12 391	6601	45 235	338
Ortenau	Train	1	12	2	5	2
Total		667	12 848	6 832	45 925	354

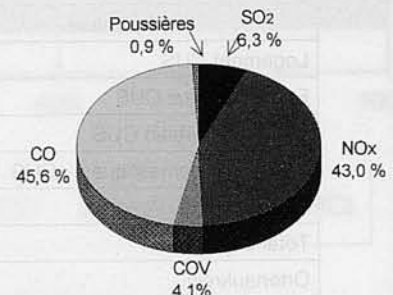
*Emissions totales par mode de transport*



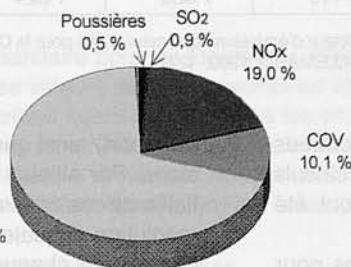
*Avion*



*Bateau*



*Route*



*Train*

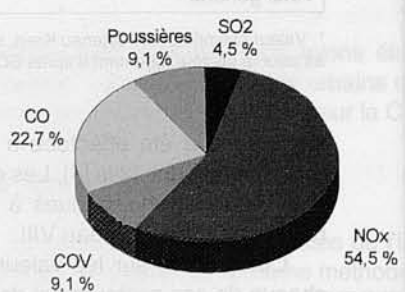


Figure 6.

Répartition des émissions de polluants par mode de transport et pour chacun de ces modes en poids % (zone CUS-Ortenaukreis).

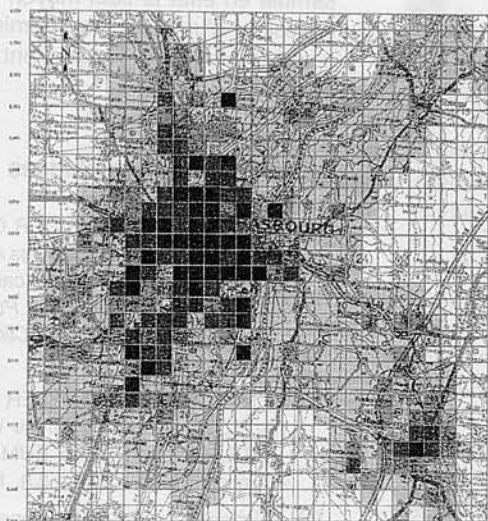
*Distribution of the emissions of pollutants per kind of transport and for each kind of transport in weight % (CUS-Ortenaukreis).*

Tableau VIII. Emissions dues au secteur Industrie en tonnes/an (1990).  
Emissions from industry in t/year (1990).

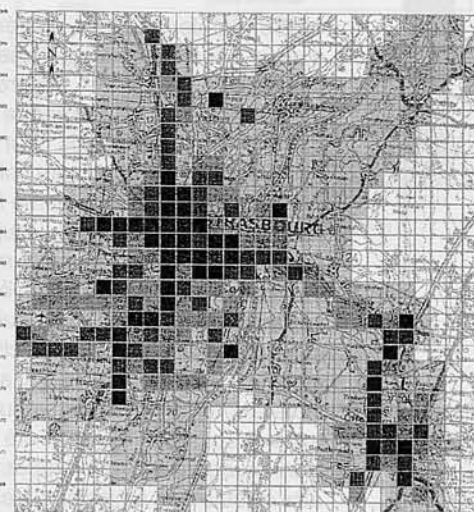
	SO <sub>2</sub>	NOx	COV	CO	Poussières	HCl
Sources ponctuelles CUS	7 339	1 623	1 970	540	601	1 757
Autres industries CUS	792	293	17	178	24	
Total CUS	8 131	1 916	1 987	718	625	1 757
Industries de l'Ortenaukreis soumises à autorisation	45	393	852	2 355	337	2
Autres entreprises de l'Ortenaukreis	3	21	445	6	189	
Total Ortenaukreis	48	414	1 297	2 361	526	2
Total général	8 179	2 330	3 284	3 079	1 151	1 759

Figure 7.  
Distribution spatiale des émissions de SO<sub>2</sub>, Nox, COV et CO pour la zone CUS-Ortenaukreis.  
Spatial distribution of the emissions of SO<sub>2</sub>, Nox, COV et CO for the CUS-Ortenaukreis area.

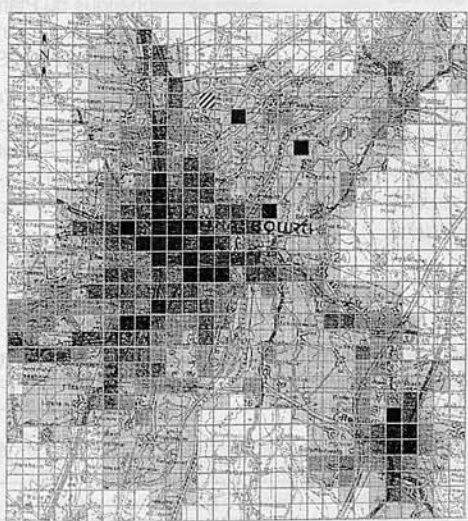
Emissions totales de SO<sub>2</sub> (1990)



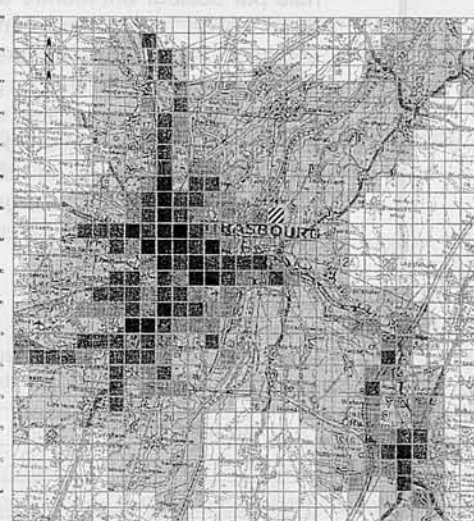
Emissions totales de NOx (1990)



Emissions totales de COV (1990)



Emissions totales de CO (1990)



marges d'incertitudes sont telles que même la distribution spatiale est approximative.

## 5. Hauteur des émissions

Les polluants émis ont été classés en fonction des hauteurs d'émissions pour chacun des secteurs. Les distributions respectives sont résumées dans le tableau IX et la figure 8. Les industries sont les émetteurs qui ont les hauteurs d'émissions les plus élevées. Les logements émettent à des hauteurs moyennes comprises entre 0 et 20 m (sauf pour les chaufferies urbaines). Les polluants dus au transport sont avant tout émis au niveau du sol.

## 6. Conclusion

Ce premier cadastre des émissions permet de donner une idée assez précise des émissions annuelles sur cette zone. Malgré les différences de méthodologie, dues en grande partie à la structure des données disponibles pour le calcul des émissions, les deux parties sont cohérentes, quantitativement parlant. Pour la partie française, il n'a malheureusement pas été toujours possible de collecter des données uniquement relatives à l'année 1990, et il a fallu empiéter sur les années voisines, notamment en ce qui concerne les sources ponctuelles (du fait d'un changement de législation concernant les rejets atmosphériques des installations classées, survenu courant 1990). Les erreurs conséquentes ont été estimées négligeables en regard des incertitudes globales inhérentes aux calculs des émissions. Les incertitudes quant aux quantités émises sont difficiles à estimer. Une première source d'erreur provient des données statistiques utilisées. Pour le calcul des consommations d'énergie par exemple, des comparaisons avec des données de consommation d'énergie finale par secteur ont montré des erreurs relatives de moins de 10 % en moyenne par rapport à nos résultats. Le problème majeur reste celui des facteurs d'émissions. Ce sont en général des facteurs moyens ce qui leur confère une validité relative, mais permettent les calculs d'émissions pour des ensembles de sources de même nature. Cependant, ils induisent des marges d'erreurs parfois importantes. Par comparaison avec le cadastre

des émissions REKLIP, nous avons pu également vérifier la cohérence des résultats obtenus, et cet inventaire constitue une base solide de travail pour la modélisation. Il serait souhaitable de réactualiser les résultats obtenus jusqu'à présent pour les années ultérieures. Les résultats obtenus montrent la part considérable des émissions dues au trafic routier notamment pour les NOx, les COV et le CO. Ces résultats devraient permettre dès à présent aux collectivités locales de mettre en œuvre des stratégies pour l'amélioration de la qualité de l'air.

Cependant, afin d'évaluer l'impact des mesures qui seront prises dans ce domaine, il serait grandement souhaitable de poursuivre et de compléter cette étude par une modélisation, prenant en compte les paramètres physico-chimiques, climatiques et météorologiques. Cette modélisation nous semble en effet le seul moyen fiable de relier les émissions d'une part et les immissions d'autre part, ces dernières étant directement reliées à la qualité de l'air.

## Références bibliographiques

- [1] PONCHE J.L., SCHNEIDER Ch. et MIRABEL Ph. « Réalisation du cadastre des émissions atmosphériques pour l'Alsace dans le cadre du projet climatique régional REKLIP ». *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 1993, 6 : 659-671.
- [2] SCHNEIDER Ch., KESSLER Ch. « Application of the EZM to the Upper Rhine Valley Region », EUROTRAC-Report : The EUMAC Zooming Model, Garmisch-Partenkirchen (D), 1994.
- [3] « Emissionen und Immissionen im Raum Kehl-Offenburg », Umweltministerium Baden-Württemberg, Bericht UM-1493, 1993.
- [4] OUDIN V. et PONCHE J.L. « Le Cadastre des émissions de polluants atmosphériques pour la CUS et pour l'année 1990 « rapport final de l'inventaire des émissions atmosphérique du Plan de Maintien de la Qualité de l'Air (Lufrheinhalteplan) de la région de Strasbourg-Offenburg, LPCA-CGS Strasbourg, août 1994.
- [5] « Catalogue INSEE pour l'année 1990. Recensement général de la population de 1990. Logements, population, emploi - Evolution 1975, 1982, 1990 pour le département du Bas-Rhin ». Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) ; 1991.

Tableau IX.

Répartition des hauteurs des émissions de polluants en pourcentage pour les différents secteurs.  
*Distribution of the heights of the emissions of pollutants in percentage for the different sectors.*

Hauteurs d'émissions	SO <sub>2</sub>	NOx	COV	CO	Poussières
< 10 m	15 %	80 %	85 %	90 %	53 %
< 20 m	19 %	8 %	6 %	5 %	9 %
< 40 m	8 %	2 %	5 %	5 %	4 %
< 60 m	8 %	3 %	3 %	< 1 %	2 %
60 m et plus	50 %	7 %	< 1 %	< 1 %	32 %

**Légende**

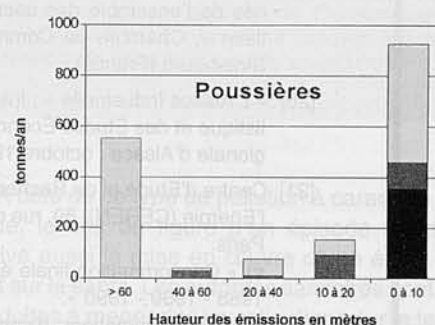
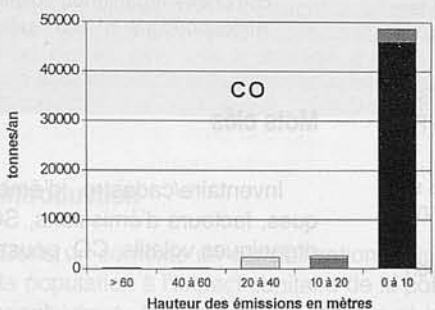
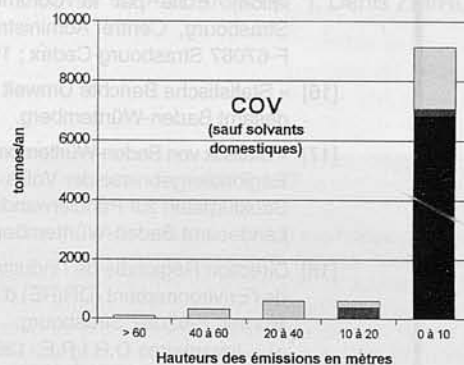
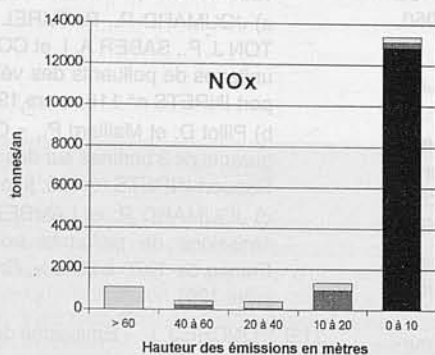
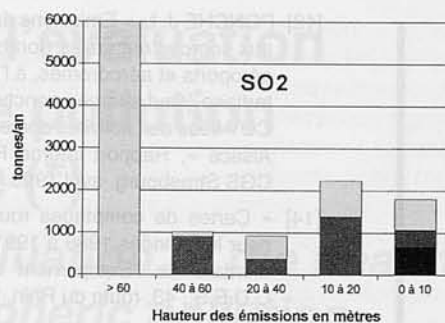
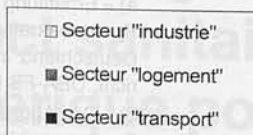


Figure 8.

Distribution des émissions par secteur en fonction des hauteurs auxquelles sont émis les différents polluants.

Distribution of the emissions per sector for the different pollutants in function of the heights of emission.

- [6] PONCHE J. L. « Emissions dans l'atmosphère dues au chauffage des logement pour la Région Alsace », Rapport interne REKLIP n°1 ; LPCA-CGS Strasbourg, avril 1992 (175 pages).
- [7] « Data aus dem Informationssystem Baden-Württembergs ». Statistische Landesamt Baden-Württemberg, 1990.
- [8] « Conseil d'orientation énergétique : ratios de consommations chauffage et E.C.S. (Eau Chaude Sanitaire) - Banque de données », Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME) ; publication de l'AFME ; avril 1991.
- [9] « Météoclim 89-90, 90-91 : Recueil des degrés-jours français calculés par le COSTIC à partir des relevés

de l'Office National de la Météorologie et diffusés década par década par la SEDIT » ; SEDIT Edition, Domaine de St Paul - F78470 Rémy-lès-Chevreuse.

- [10] « Indices d'émissions - moyens de NOx, CO et COV pour les différentes phases des cycles LTO et durée moyenne de chaque phase pour la France, relatifs aux avions classiques ». Direction Générale de l'Aviation civile, Service de la Navigation aérienne, 246, rue Lecourbe F-75732 Paris Cedex 15.
- [11] « Facteurs d'émission relatifs aux atterrissages et décollages des avions civils, 1993 ». Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), 3, rue Henri Heine, F-75016 Paris (correspondance entre le CITEPA et le LPCA).

- [12] PONCHE J. L. « Emissions dans l'atmosphère dues aux sources naturelles (forêts), au trafic aérien des aéroports et aérodromes, à l'industrie et au secteur tertiaire (sauf sources ponctuelles) et émissions de COV liées aux activités domestiques pour la Région Alsace », Rapport interne REKLIP n° 1 ; LPCA-CGS Strasbourg, avril 1993.
- [14] « Cartes de comptages routier pour le Bas Rhin pour les années 1988 à 1991 ». Direction Départementale de l'Équipement du Bas Rhin (DDE), C.D.E.S., 43, route du Rhin, F-67200 Strasbourg.
- [15] « Comptages automatiques de la circulation motorisée en 1990 » ; Rapport annuel du SIRAC (Système Intégré de régulation Automatique de la Circulation). Edité par la Communauté Urbaine de Strasbourg, Centre Administratif, BP 1049/1050, F-67067 Strasbourg-Cedex ; 1991.
- [16] « Statistische Berichte Umwelt », Statistisches Landesamt Baden-Württemberg.
- [17] « Statistik von Baden-Württemberg ; Band 402, Heft 8 ; Regionalergebnisse der Volks- und Berufszählung ; Strukturdaten zur Pendlerwanderung ». Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart, 1990.
- [18] Direction Régionale de l'Industrie de la recherche et de l'Environnement (DRIRE) d'Alsace, 1, rue Pierre-Montet, F-67082 Strasbourg.
- a) « Inventaires D.R.I.R.E. 1987 et 1991 des sources ponctuelles pour l'Alsace ».
- b) « Les rejets industriels en Alsace: bilan 1991 », Rapport annuel de la DRIRE d'Alsace et du Ministère de l'Environnement pour l'année 1991.
- [19] « Fichiers Entreprises d'Alsace de plus de 10 salariés de l'ensemble des secteurs industriels et tertiaire ». Chambre de Commerce et d'Industrie de Strasbourg (France).
- [20] « L'Alsace Industrielle » ; Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques - Direction Régionale d'Alsace ; octobre 1991.
- [21] Centre d'Etude et de Recherches Economiques sur l'Energie (CEREN). 89, rue de Miromesnil, F-75008 Paris.
- a) « Consommation finale énergétique par région ; 1988 - 1989 - 1990 ».
- b) « Consommations d'énergie pour les secteurs industriels et tertiaires pour l'année 1990 ».
- [22] « Default emission factors handbook - Commission of the European Community » ; 2nd Edition, Commission of the European Community, DG XI, 1991, Document prepared by the « Centre Interprofessionnel d'Etude Technique de la Pollution Atmosphérique (CITEPA), 3, rue H.-Heine, 75016 Paris », September 1991.
- [23] Proceedings of the « International Workshop on Methodologies for Air Pollutant Emission Inventories, Paris June/July 1987 ». European Association for the Science of Air Pollution (EURASAP). Ed. : P. Bessemoulin, Paris, 1987.
- [24] « CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic, Volume 1 : Methodology and Emission Factors, Final Report », Contract no. B4-3045 (91) 10 PH, Commission of the European Communities, DG XI - EEC Task Force, 1991.
- [25] Umweltbundesamt Berichten, Erich Schmidt Verlag, Berlin :
- a) « Ermittlung des Abgas-Emissionsverhaltens von Personenkraftwagen (PKW) in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1988 », Zwischenbericht, UBA-FB 91-042, 1991.
- b) « Das Abgas-Emissionsverhalten von PKW in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1985 », Berichte 7/87, 1987.
- c) « Das Abgas-Emissionsverhalten von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1980 », Berichte 11/83, 1983.
- [26] Rapports de l'Institut National de recherches sur les Transport et la Sécurité (I.N.R.E.T.S.), 109, rue Salvador-Allende, case 24, F-69675 Bron-Cedex.
- a) JOUMARD R., PATUREL L., VIDON R., GUITTON J. P., SABER A. I. et COMBET E. « Emissions unitaires de polluants des véhicules légers », Rapport INRETS n° 116, mars 1990.
- b) Pillot D. et Maillard P., « Consommation de carburants de 3 berlines sur des cycles élémentaires », Rapport INRETS n° 120, juin 1990.
- c) JOUMARD R. et LAMBERT J. « Evolution des émissions de polluants pour les transports en France de 1970 à 2010 », Rapport INRETS n° 143, juillet 1991.
- [13] PONCHE J. L. « Emissions dans l'atmosphère dues au trafic routier et dues aux sources ponctuelles », Rapport interne REKLIP n° 2 ; LPCA-CGS Strasbourg, avril 1992.
- [27] BOUSCAREN R. et ALLEMAND N. « Inventaire expérimental des émissions dans l'atmosphère de composés organiques volatils (COV) » ; *Pollution Atmosphérique*, n° 123 ; juillet-septembre 1989.

## Mots clés

Inventaire/cadastre d'émissions atmosphériques, facteurs d'émissions, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, composés organiques volatils, CO, poussières.

## Remerciements

Nous exprimons nos plus vifs remerciements à l'ensemble des organismes auprès desquels les données ont pu être collectées, à l'UMEG, qui a réalisé la partie allemande de cette étude, ainsi qu'à la CEE (Programme INTERREG 1) et aux différents organismes d'Etat tant Nationaux que Régionaux allemands et français dont les financements ont permis la réalisation de ce travail, en particulier :

- le ministère de l'Environnement du Baden-Württemberg,
- le ministère de l'Environnement Français,
- la Communauté Urbaine de Strasbourg, - l'arrondissement de l'Ortenau et les villes de Kehl et d'Offenburg.