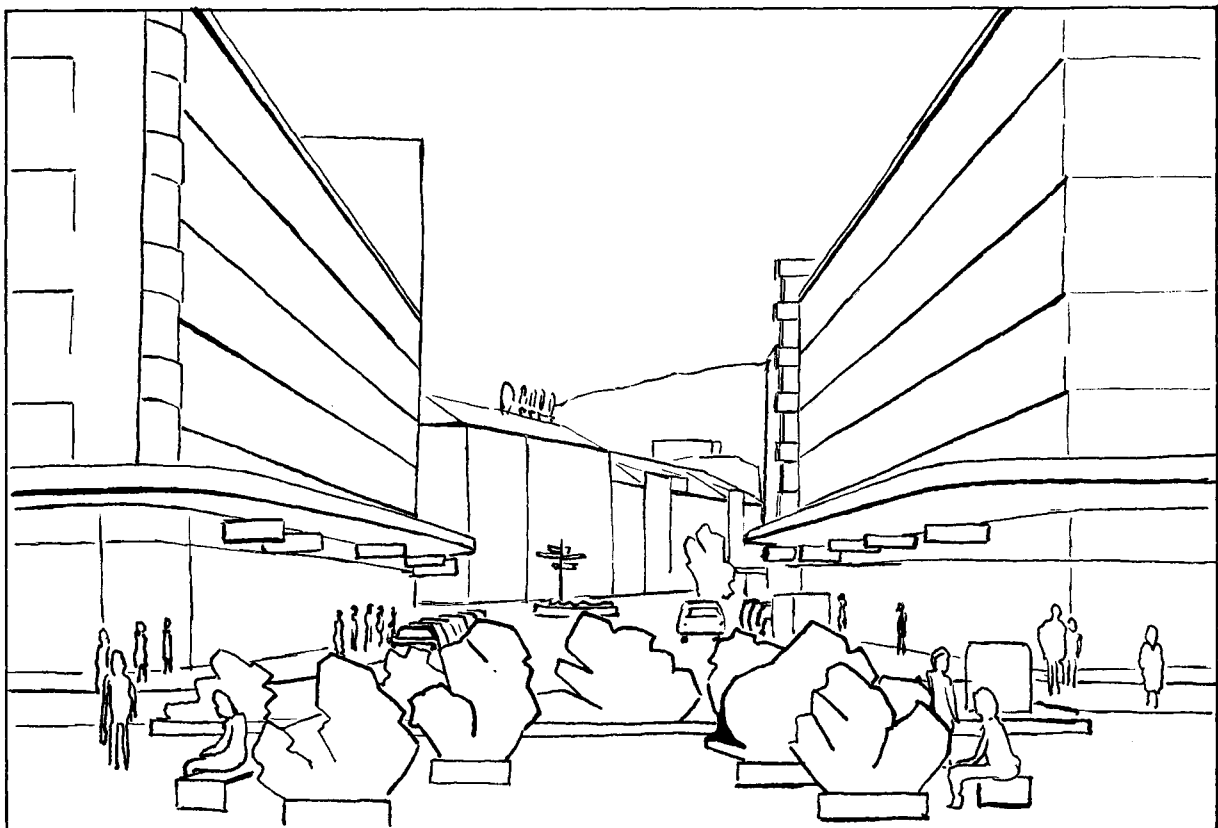


Pierre Berlincourt

Les émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne

Une approche géographique



G E O G R A P H I C A B E R N E N S I A

Série	A	African Studies
Série	B	Rapports d'excursions, de camps d'études et de séminaires
Série	G	Recherche
Série	P	Géographie pour la pratique
Série	S	Géographie pour l'école
Série	U	Manuscrits pour l'enseignement universitaire

Volume G 28

Auteur Pierre Berlincourt

Editeurs Dozenten des Geographischen Instituts
der Universität Bern
K. Aerni, H.R. Egli, H. Kienholz,
Ch. Leibundgut, B. Messerli, P. Messerli,
H. Wanner, M. Winiger

Edition Arbeitsgemeinschaft GEOGRAPHICA BERNENSIA
in Zusammenarbeit mit
der Geographischen Gesellschaft von Bern
Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern

Rédaction Prof. Dr. B. Messerli, PD Dr. H. Wanner

Impression Imprimerie St-Canisius, CH-1700 Fribourg

Copyright Geographisches Institut der Universität Bern
ISBN 3-906290-40-9

Couverture: Bienne, Place de la Gare et Rue de la Gare,
dessin de l'auteur selon une photographie



Creative Commons Licences

Pierre Berlincourt

Les émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne

Une approche géographique



Le présent travail a pu être publié grâce
à l'appui des institutions suivantes:

Fondation Marchese Francesco Medici del Vascello

Arbeitsgemeinschaft Geographica Bernensia

Remerciements

Ce travail s'est déroulé sous la direction conjointe du professeur B. Messerli, recteur de l'Université de Berne, de H. Wanner, Dr. ès sc., privat-docent et chef du groupe de climatologie appliquée de l'Institut de Géographie de l'Université de Berne, et de H. Mathys, Dr. ès sc., chef de la division de protection de l'air à l'Office de l'industrie, des arts et métiers et du travail du canton de Berne. Je tiens à les remercier chaleureusement.

B. Messerli a su m'apporter un soutien philosophique et des suggestions scientifiques dans les moments cruciaux de mon travail. H. Mathys m'a donné une vision plus pragmatique de la protection de l'air et des réalités administratives qu'elle recèle; il m'a aussi grandement facilité le contact avec de nombreux spécialistes des administrations de la Confédération, des cantons et des villes. H. Wanner, enfin, a su, par la persévérance de ses efforts, mener à bien un projet des plus complexes et surtout, il nous a communiqué son optimisme, même dans les heures les plus noires du projet.

Je suis également reconnaissant à tous les membres du projet "Climat et hygiène de l'air dans la région biennoise". Les nombreuses discussions que nous avons eues, sur des questions générales comme sur des points de détail, ont largement contribué à la cohérence de nos travaux. A ce dialogue fructueux vient s'ajouter un échange remarquable d'informations et de données. Je tiens à remercier tout particulièrement mes collègues de l'Institut de Géographie: Paul Filliger, Dr ès sc., pour les nombreux logiciels qu'il a créés pour mes travaux, Beat Rickli pour la mise à disposition de ses données sur le volume bâti de la commune de Bienne, et Ralph Rickli pour ses nombreuses suggestions graphiques.

Mes remerciements vont aussi aux nombreux collaborateurs scientifiques des administrations publiques, notamment à MM. A. Stettler, Dr ès sc., et U. Jansen de l'Office fédéral de la protection de l'environnement.

Vu le caractère régional très marqué de mes travaux, il ne m'aurait guère été possible de les mener à bien sans le concours de très nombreuses instances locales. Il me tient à coeur de remercier M. H.P. Jungi, de l'Inspectorat des Travaux publics de la commune de Nidau, ainsi que Mme Buchenel et M. Ph. Gensheimer de l'Office d'urbanisme de la ville de Bienne.

II

Tout un volet du travail aurait été irréalizable sans le soutien de l'Union du Commerce et de l'Industrie, section Bienne-Seeland (M. Vuillemin, secrétaire) et sans la collaboration bénévole de plus de 120 entreprises industrielles de la région. J'exprimerai notamment ma gratitude à MM. Portmann (Albert Tripet SA), Buchheim (Geb. Schnyder & Co.), Brit et Kocher (Tréfileries réunies SA) qui m'ont aidé lors du développement du questionnaire d'enquête.

La phase de rédaction s'est déroulée alors que je travaillais déjà comme fonctionnaire scientifique à l'Office fédéral de l'éducation et de la science. Elle a été grandement facilitée par la compréhension de mes collègues et surtout par un congé d'étude généreusement accordé par notre Directeur, le professeur U. Hochstrasser. Je lui en suis profondément reconnaissant.

Mes remerciements s'adressent également à Mme Lobsiger, qui a dactylographié le premier manuscrit de ce texte, ainsi qu'à Mme Kneissler et son équipe, qui ont composé la version définitive en traitement de texte.

Enfin, je ne saurais conclure sans remercier de tout coeur mon épouse Brigitte qui a su m'encourager et m'entourer, mais aussi enrichir ce travail de sa perspective d'historienne. Une caresse encore à ma fille Fanny qui a passé de longues heures de jeu sans son papa...

Préface

Notre préface sera le lieu de quelques réflexions plus philosophiques qui nous ont accompagné tout au long de nos travaux.

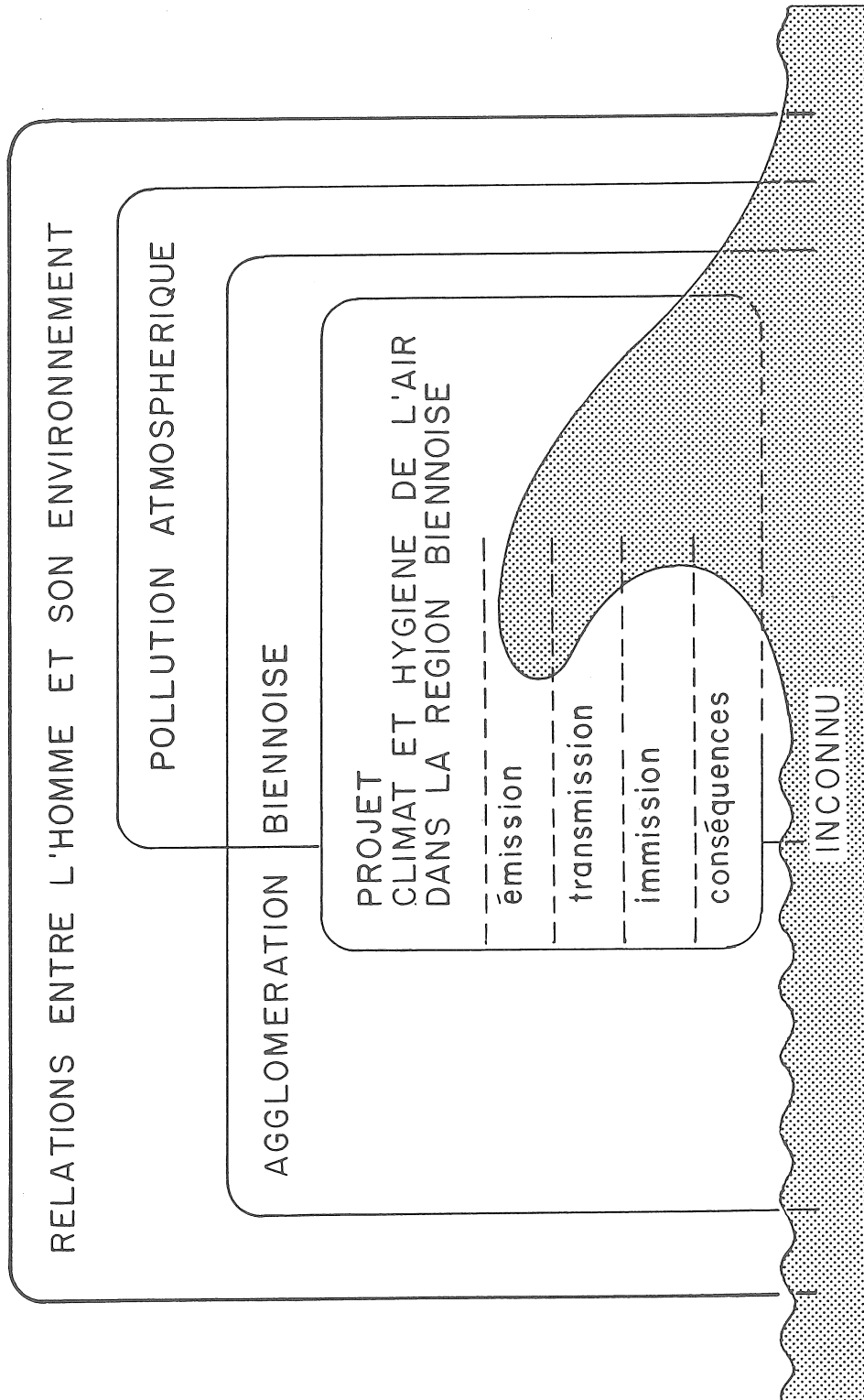
Si notre étude des émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne s'est déroulée dans le cadre du projet interdisciplinaire "Climat et qualité de l'air dans la région de Bienne", nous avons néanmoins jugé nécessaire d'ajouter "une approche géographique". L'interdisciplinarité présuppose en effet l'existence de disciplines. C'est précisément du choc des différentes approches, dans notre cas celles du physicien, du botaniste, du médecin, de l'urbaniste, de l'hygiéniste de l'air et du géographe, que naîtra une vision nouvelle qu'aucune discipline n'aurait pu dégager à elle seule. Participer à un projet interdisciplinaire exigerait donc de définir sa propre position. Penchons-nous un instant sur celle du géographe.

"Par sa nature la géographie est (donc), nécessairement, méthodologiquement hétérogène. Elle se situe, pour une part, parmi les sciences de la terre et de la nature, de la minéralogie et de la pétrologie, de la géologie à la biologie, pour une part parmi les sciences de l'homme, de l'histoire à la sociologie, à l'économie, à la psychologie sociale ... Raison pour laquelle elle est continuellement préoccupée de la recherche de son unité." (GEORGE P. 1978:6). Pour trouver cette unité de la géographie, il faut donc s'élever au-dessus des contingences méthodologiques comme le fait par exemple HAGGETT P. (1983: xiii) lorsqu'il affirme: "geography challenges students ... to focus directly on relationships between people and the environment, their spatial consequences and the resulting regional structures that have emerged on the earth's surface". D'après cette proposition, le propre de notre discipline est donc d'étudier les interrelations entre l'homme et son environnement dans leur spatialité.

Au cours de nos travaux, nous nous sommes souvent demandé si les études de pollution atmosphérique en général et le relevé des émissions en particulier étaient des problèmes géographiques. Si nous admettons la définition donnée ci-dessus, la pollution atmosphérique peut être considérée comme une interrelation, certes pas très élogieuse pour notre espèce, entre l'homme et l'environnement. Dans une première phase, l'homme rejette des polluants dans l'atmosphère lors de différentes activités (émission); ces polluants sont ensuite transposés, dilués et partiellement transformés dans l'atmosphère (transmission) pour venir frapper notre environnement naturel et construit ou l'homme lui-même (immis-

sion). Ces phénomènes se déroulent dans un espace géographique dans lequel on trouve naturellement bien d'autres relations homme-environnement. Dans notre cas, la portion d'espace ou la structure régionale considérée est l'agglomération biennoise. La figure I, qui visualise la place de notre étude dans le vaste champ de la géographie, rappelle enfin qu'il existe toujours une part d'inconnu qui est bien souvent la motivation profonde de la recherche.

Figure I: Situation d'une étude régionale des émissions atmosphériques dans le champ d'étude de la géographie



<u>Table des matières</u>	<u>Page</u>
Remerciements	I
Préface	III
Table des matières	VII
1. Introduction	1
1.1 Buts des études de pollution atmosphérique	1
1.2 Le projet "Climat et qualité de l'air dans la région biennoise"	2
1.3 Périmètre de l'étude des émissions atmosphériques	5
2. Buts de l'étude des émissions atmosphériques	9
3. Méthodes	13
3.1 Généralités	13
3.1.1 Les deux approches possibles	13
3.1.2 Le caractère évaluatif des méthodes	15
3.1.3 L'échelle spatiale	17
3.2 Méthodes envisagées pour l'agglomération biennoise: aspects généraux	19
3.2.1 Polluants considérés	19
3.2.2 Définition des groupes de sources	25
3.2.3 Facteurs d'émission	28
3.3 Relevé du chauffage domestique	36
3.3.1 Introduction, données disponibles et principe	36
3.3.2 Etablissement de la méthode à partir de la commune de Nidau	40
3.3.3 Application de la méthode à la commune de Bienne	43
3.3.4 Généralisation de la méthode pour les autres communes de l'agglomération	44
3.3.5 Exceptions	48
3.3.6 Le relevé du chauffage domestique en bref	49
3.4 Relevé du trafic	49
3.4.1 Principe et données disponibles	49
3.4.2 Les modèles de transport	51
3.4.3 Vitesses commerciales	56
3.4.4 Part du trafic lourd	57
3.4.5 Passage du modèle de trafic au relevé des émissions	64
3.4.6 Le relevé du trafic en bref	67
3.5 Relevé de l'industrie	68
3.5.1 Données disponibles et principes	68
3.5.2 Organisation d'une enquête	69
3.5.3 Questionnaire d'enquête	71
3.5.4 Participation à l'enquête	72
3.5.5 Traitement des résultats d'enquête	73

3.6	Fluctuations temporelles de l'émission	77
3.6.1	Généralités	77
3.6.2	Chauffage domestique	80
3.6.3	Trafic routier	81
3.6.4	Industrie	85
4.	Caractérisation des émissions atmosphériques de l'agglomération biennoise	87
4.1	Aperçu de l'émission	87
4.1.1	Emission annuelle totale	87
4.1.2	Caractérisation de l'émission hectométrique	90
4.2	Géographie de l'émission	92
4.2.1	Anhydride sulfureux SO ₂	92
4.2.2	Oxydes d'azote NO _x	93
4.2.3	Hydrocarbures HC	98
4.3	Spécificités des groupes de sources	102
4.3.1	Chauffage à l'huile et chauffage au gaz	102
4.3.2	Trafic léger et trafic lourd	104
4.3.3	Processus industriels et chauffage des entreprises	106
4.4	Fluctuations temporelles de l'émission	108
4.4.1	Emission mensuelle moyenne en janvier et en juin	109
4.4.2	Emission journalière moyenne pour un mercredi de décembre	111
4.4.3	Emission horaire moyenne pour un mercredi de décembre	112
4.5	Récapitulation	117
5.	Signification des résultats	119
5.1	Structures urbaines explicatives de la géographie des émissions	119
5.1.1	Développement urbain	119
5.1.2	Sites industriels	122
5.1.3	Réseau routier	123
5.1.4	Structures économiques	123
5.1.5	Récapitulation	124
5.2	Carte de synthèse de l'émission	125
5.2.1	Difficultés et impasses	125
5.2.2	Exigences des utilisateurs	126
5.2.3	Traits essentiels de l'émission	127
5.2.4	Une carte qualitative	127
5.3	Vers l'assainissement	130
5.3.1	Une scène dynamique: l'assainissement des sources ponctuelles	131
5.3.2	Problèmes complexes: l'assainissement du chauffage domestique	132
5.3.3	Difficultés majeures: l'assainissement du trafic routier	133

6. Résultats méthodologiques	135
6.1 Appréciation de la démarche	135
6.1.1 Chauffage domestique	135
6.1.2 Trafic routier	137
6.1.3 Industrie	138
6.1.4 Variations temporelles de l'émission	139
6.2 Représentation graphique et résolution spatiale	141
6.2.1 Représentation graphique	141
6.2.2 Résolution spatiale	142
6.3 Mise à jour et applications des données	143
7. Conclusions	147
Résumé - Summary - Zusammenfassung	152
Bibliographie	159
<u>Annexes:</u>	
Annexe 1 questionnaire d'enquête utilisé pour le relevé de l'industrie	167
Annexe 2 proposition de déclaration d'émission pour le cadastre des émissions du Canton de Fribourg	173
<u>Transparent</u> (dans le dos de couverture)	
Transparent 1: Nomenclature	
<u>Liste des figures</u>	
Figure 1 : Schéma du projet "Climat et qualité de l'air dans la région de Bienne"	4
Figure 2 : Périmètre de l'étude des émissions atmosphériques	7
Figure 3 : Les deux démarches possibles pour le relevé des émissions	14
Figure 4 : Coefficients d'émission et consommation de carburant du parc actuel de voitures de tourisme en Suisse en fonction de la vitesse moyenne effective	32
Figure 5 : Chauffage domestique: diagramme méthodique	38

Figure 6	: Corrélations entre le nombre de logements et la surface chauffée par hectare pour différentes zones d'aménagement	46
Figure 7	: Trafic routier: diagramme méthodique	52
Figure 8	: Principe du modèle de trafic	54
Figure 9	: Réseau de trafic	65
Figure 10	: Industrie: diagramme méthodique	76
Figure 11	: Fluctuation temporelle de l'émission	82
Figure 12	: Aperçu de l'émission annuelle totale	89
Figure 13	: Histogrammes des valeurs d'émission hectométriques	91
Figure 14	: Anhydride sulfureux: carte hectométrique	94
Figure 15	: Anhydride sulfureux: géographie des groupes de sources	95
Figure 16	: Oxydes d'azote: carte hectométrique	96
Figure 17	: Oxydes d'azote: géographie des groupes de sources	97
Figure 18	: Hydrocarbures: carte hectométrique	100
Figure 19	: Hydrocarbures: géographie des groupes de sources	101
Figure 20	: Chauffage à huile et chauffage à gaz: oxydes d'azote	103
Figure 21	: Trafic léger et trafic lourd: oxydes d'azote	105
Figure 22	: Processus industriels et chauffage des entreprises	107
Figure 23	: Emission mensuelle moyenne en janvier et en juin	110
Figure 24	: Emission moyenne pour un mercredi de décembre	113
Figure 25	: Variations horaires de l'émission pour un mercredi de décembre	114
Figure 26	: Structures urbaines explicatives de la géographie des émissions	121
Figure 27	: Emissions de l'agglomération de Bienne: carte de synthèse	128
Figure 28	: Oxydes d'azote: carte kilométrique	144

Liste des tables

Table 1	: Résolution spatiale de quelques études d'émission récentes	18
Table 2	: Emissions d'hydrocarbures caractéristiques du chauffage, du trafic routier et de deux processus industriels courants dans la région biennoise	22
Table 3	: Facteurs d'émission pour le chauffage domestique et industriel	30
Table 4	: Emission spécifique par véhicule: valeurs utilisées	33
Table 5	: Valeurs d'émission utilisées pour les processus industriels	34
Table 6	: Consommation spécifique d'énergie de chauffage selon quelques études récentes	42
Table 7	: Application des corrélations entre le nombre de logements et la surface chauffée par hectare en fonction des zones d'aménagement	47
Table 8	: Précision du modèle de trafic N5/T6 actualisé pour 1985	55
Table 9	: Cycles de conduite	58
Table 10	: Part du trafic lourd: comptages 1979/1980	60
Table 11	: Part du trafic lourd: comptages manuels 1985	61
Table 12	: Part du trafic lourd: comptage automatique 1985	62
Table 13	: Densité du trafic, vitesse commerciale et part du trafic lourd: quelques exemples des valeurs utilisées pour le calcul des émissions	63
Table 14	: Participation à l'enquête dans les entreprises industrielles	74
Table 15	: Représentativité de l'enquête par rapport au nombre d'entreprises et d'employés par secteur industriel	75
Table 16	: Facteurs de conversion des unités d'énergie	78

1. INTRODUCTION

1.1 Buts des études de pollution atmosphérique

Les phénomènes de pollution atmosphérique sont d'une telle gravité, comme le rappelait récemment Hans Ulrich Dütsch dans la "Neue Zürcher Zeitung" (DUETSCH H.U. 1986), que l'intérêt académique réel de la recherche dans ce domaine tend à disparaître sous la portée pratique des résultats. Le chercheur qui s'engage dans ce domaine devra donc définir un équilibre subtil entre ses aspirations scientifiques légitimes et l'utilité pratique de ses travaux, comme le constate également Paul Filliger (FILLIGER P. 1986: 2). Cette ambiguïté est d'autant plus forte que la nature des études de pollution est souvent mal comprise par les instances responsables (cf. ZINGG et al., in prép.) et par l'opinion publique: Ces recherches ne forment pas, en soi, des mesures de lutte contre la pollution atmosphérique, mais elles visent uniquement à surveiller, décrire et analyser l'état de la pollution en vue de déterminer les formes et l'ampleur des mesures de lutte à entreprendre. Le terme anglo-saxon de **monitoring** s'applique parfaitement.

D'un point de vue scientifique, les études de pollution atmosphérique ont pour but d'accroître nos connaissances dans quatre domaines (HAGGETT P. 1983: 191ss):

- La nature des polluants;
- Le contexte spatial et temporel de l'émission;
- L'environnement pollué;
- Les impacts sur les écosystèmes.

Le but pratique de ces études est double: Premièrement, déterminer des normes de protection de l'environnement (ou les modifier) en fonction des connaissances acquises sur la toxicité et la fréquence des polluants ainsi que sur l'ampleur de l'atteinte. Deuxièmement, vérifier si les normes existantes sont respectées et prendre des mesures d'assainissement le cas échéant. Cette dimension pratique est clairement définie en Suisse par la loi fédérale sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983, plus particulièrement à l'article 44, premier alinéa, mais également aux articles 6, 8 et 46 (Confédération suisse 1983: RS 814.01):

Art.44 Enquêtes sur les nuisances grevant l'environnement

¹La Confédération et les cantons procèdent à des enquêtes sur les nuisances grevant l'environnement et contrôlent l'efficacité des mesures prises en vertu de la présente loi.

Ainsi, grâce à l'introduction, certes tardive, de la loi sur la protection de l'environnement, les études de pollution atmosphérique sont devenues un instrument de l'autorité gouvernementale dans le cadre de la protection de l'environnement. Il convient de souligner que le caractère de **monitoring** des études est également exprimé par la loi (Art. 6, 7 et 44).

Enfin, on ne saurait évoquer les buts des études de pollution sans signaler que d'autres approches sont possibles. L'une d'elles paraît particulièrement intéressante: elle consiste à évaluer les coûts des atteintes à l'environnement et à comparer ces chiffres avec les frais de la lutte contre la pollution. L'OCDE a envisagé le cas de l'anhydride sulfureux dans cette perspective pour les pays européens (OCDE 1981).

1.2 Le projet "Climat et qualité de l'air dans la région biennoise"

Le projet "Climat et qualité de l'air dans la région biennoise" est antérieur à l'entrée en vigueur de la loi fédérale sur la protection de l'environnement mentionnée ci-dessus qui lui a donné une nouvelle dimension a posteriori. En fait, le projet doit son existence aux intérêts concordants du syndicat d'aménagement régional Bienne-Seeland (RPLV), de la division de protection de l'air de l'Office de l'industrie, des arts et métiers et du travail du canton de Berne (KIGA, protection de l'air) et de l'Institut de Géographie de l'Université de Berne (GIUB). Au vu des conditions climatiques et démographiques de la région ainsi que des projets d'infrastructure importants (voir à cet effet REGIONALPLANUNGSVERBAND 1984), il fut décidé de créer un projet de recherche interdisciplinaire ayant pour buts:

- 1) L'étude de la chaîne de réaction: Emission (sources de pollution) ~ Transmission (climat: conditions de dispersion des polluants) ~ Immission (pollution effective en un lieu;
- 2) La corrélation de ces résultats avec les conséquences de la pollution sur l'homme et la végétation;
- 3) L'application directe des résultats au niveau de l'aménagement urbain et régional.

La figure 1 présente le concept de travail établi à cet effet. Quelques précisions:

Emission: relevé des polluants produits par les groupes de sources trafic routier, industrie et chauffage domestique ainsi que de leur répartition spatiale et de leurs fluctuations temporelles. C'est la tâche du présent travail.

Transmission, climat: pour ce domaine, deux approches complémentaires ont été envisagées:

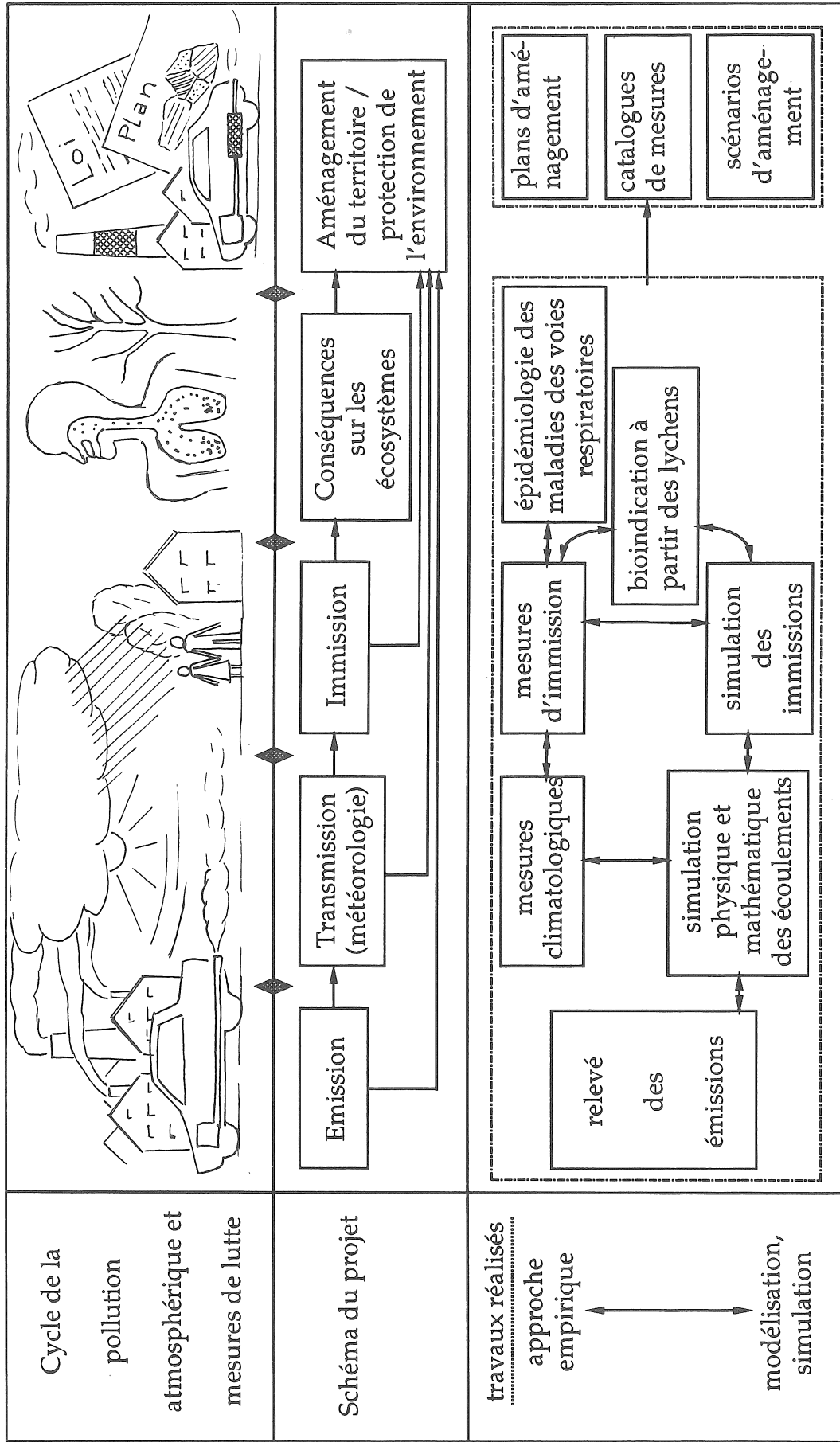
- a) mesure et observation dans la nature: étude du champ du vent, de l'humidité et de la structure thermique (RICKLI R. 1982), étude du bilan énergétique de la ville de Bienne (RICKLI B. 1984);
- b) modélisation: modèles physiques en soufflerie (WANNER H. et HERTIG J.A. 1984; LISKA P., RICKLI R. et HERTIG J.A. 1984) et modèles mathématiques (FILLIGER P. 1986).

Immission: mesures d'immission à l'aide d'instruments par le GIUB (BERLINCOURT P. 1983; SCHUEPBACH E. 1984) et par les instances cantonales (KIGA BERN, in prep.). Simulation de l'immission par le biais des modèles mathématiques (FILLIGER P. 1986).

Conséquences: Etude de l'atteinte globale en utilisant des lichens comme bioindicateurs (HERZIG et al. 1985); Etude des maladies aiguës des voies respiratoires chez les enfants en corrélation avec des paramètres météorologiques et de qualité de l'air (MARTY et al. 1985).

Mesures au niveau de l'aménagement du territoire: L'introduction des résultats des volets d'études ci-dessus au niveau de l'aménagement du territoire s'est déroulée de manière continue au cours des travaux, dans le cadre de séances de travail. Elle est parfaitement illustrée par l'aperçu de l'urbaniste de Bienne (STADTPLANUNG BIEL 1982: 31-39) ou par le catalogue de questions dans la perspective de l'aménagement du territoire (WANNER et al. 1985).

Figure 1 Schéma du projet "Climat et qualité de l'air dans la région biennoise"



Ce schéma repose sur le schéma élaboré par WANNER et al. (1982). Seules quelques connexions logiques importantes entre les différents aspects du projet sont indiquées (↔).

Si l'on considère ce concept de travail dans la perspective des quatre domaines définis au chapitre 1.1, on constate que la question de la nature des polluants est présente dans tous les volets du projet, que l'étude des émissions est censée renseigner sur la répartition spatiale et temporelle de l'émission et que l'environnement pollué est défini par les études de météorologie (nature et modélisation), d'immission et de bioindication. Enfin deux écosystèmes atteints sont examinés: l'écosystème humain et l'écosystème lichenique. Par le dernier volet de l'étude et par la définition très concrète de ses autres aspects, le projet s'efforce de répondre aux hautes exigences pratiques de l'aménagement du territoire et de la protection de l'air.

1.3 Périmètre de l'étude des émissions atmosphériques

Les chapitres précédents ont permis de situer le présent travail dans son contexte scientifique. Il faut encore en esquisser le cadre géographique.

Introduire la notion d'agglomération de Bienne, n'est-ce pas admettre qu'elle se laisse définir? Or, parmi les études récentes consacrées à Bienne et sa région, seule celle de BRUECKERT (1970) aborde, à notre connaissance, cette problématique en profondeur. Le collectif d'auteurs regroupés autour de AERNI (1980) ne s'y attarde pas, alors que TUROLLA (1982: 22-27), dans une étude en soi remarquable, compare la commune de Bienne, l'agglomération et la ceinture (Agglomerationsgürtel) sans en définir l'extension géographique. C'est dire que, sans entamer une discussion qui dépasserait le cadre du présent travail, quelques réflexions quant au périmètre de l'étude s'imposent.

Une étude approfondie réalisée à partir des données du recensement de la population de 1980 (OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE 1984: 7-8) fournit la définition officielle que voici de la notion d'agglomération:

- a) Une agglomération "... est un ensemble d'au minimum 20'000 habitants, formé par la réunion des territoires de communes adjacentes.
- b) Toute agglomération possède une zone centrale (...). Cette zone centrale est formée d'une commune-noyau et, suivant le cas, d'autres communes qui se touchent, sous réserve qu'elles satisfassent à trois conditions ..." quant aux emplois et quant à la continuité de la zone bâtie.
- c) "Une commune n'appartenant pas à ladite zone centrale sera attachée à l'agglomération

- . si au moins un sixième de sa population active occupée résidente travaille dans la zone centrale définie précédemment et
- . si au minimum trois de(s) cinq conditions "quant aux habitants, aux emplois, à l'évolution de la population et à la continuité de la zone bâtie" sont remplies".

Dans cette perspective, l'agglomération de Bienne comprend les 16 communes suivantes:




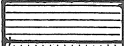

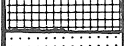

Commune-noyau:	Bienne
Rive nord du lac:	Tüscherz-Alfermée
Flanc sud du Jura:	Evilard (y compris le village de Macolin)
Rive sud du lac:	Mörigen
	Sutz-Lattrigen
	Ipsach
Nord du canal de Nidau-Büren:	Nidau
	Brügg
	Orpund
	Safnern
Sud du canal de Nidau-Büren:	Port
	Bellmund
	Aegerten
	Studen
	Schwadernau
	Scheuren

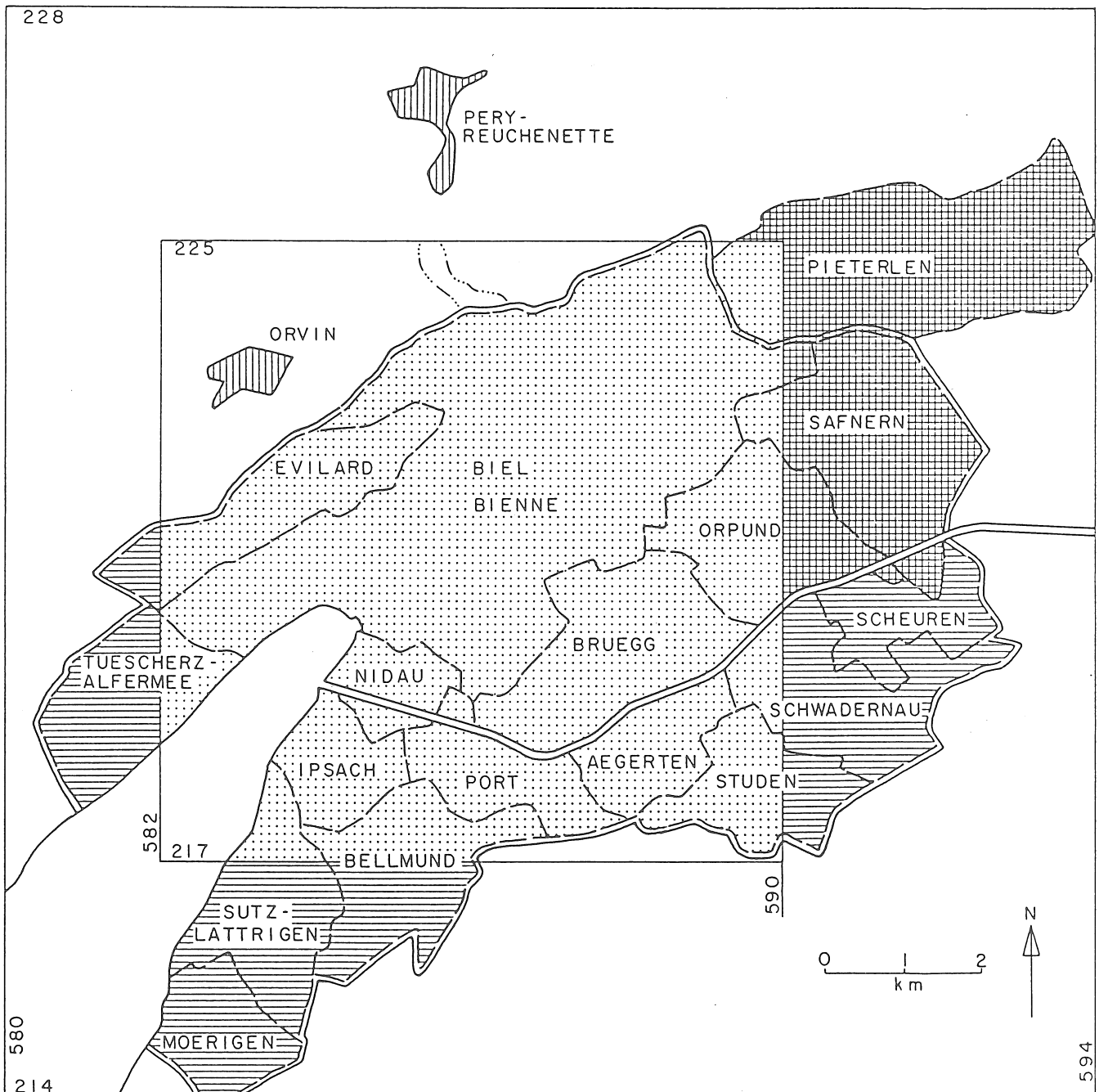
Le périmètre retenu pour le présent travail repose pour l'essentiel sur cette définition. Néanmoins, nous avons également tenu compte des vœux des aménagistes, de l'emplacement de quelques grands émetteurs industriels, des données disponibles et de leur forme ainsi que du périmètre retenu dans les autres volets du projet. De ce fait, le périmètre est légèrement différent pour le relevé des émissions de l'industrie, du chauffage et du trafic ainsi que pour la présentation des résultats:

- **Chauffage:** le périmètre correspond à celui de l'agglomération au sens de l'Office fédéral de la statistique. La commune de Pieterlen y a été ajoutée à la demande du syndicat d'aménagement régional. Il aurait été souhaitable d'étendre le périmètre vers le nord, en y incorporant les communes d'Orvin et de Péry, mais les données du recensement de population 1980 n'existent malheureusement pas sous forme hectométrique pour ces deux communes.

Figure 2: Périmètre de l'étude des émissions atmosphériques

Légende

	frontières communales
	périmètre de l'agglomération biennoise
	relevé du trafic seulement
	relevé du chauffage seulement
	relevé de l'industrie seulement
	relevé du chauffage et de l'industrie
	zone commune aux trois groupes de sources



- **Industrie:** le périmètre naît de la juxtaposition de la définition des entreprises industrielles (cf 3.2.3) et de celle de l'agglomération. Les communes de Tüscherz-Alfermée, Evilard, Mörigen, Sutz-Lattrigen, Ipsach, Bellmund et Studen ne comptent pas d'entreprises industrielles au sens de notre définition. Les communes d'Orvin, de Péry et de Pieterlen ont été ajoutées car les deux plus grands émetteurs industriels de la région se trouvent à Péry-Reuchette et à Pieterlen.
- **Trafic:** le périmètre découle du modèle de trafic N5/T6 (cf 3.4.1) dans sa version la plus récente.
- **Présentation des résultats:** un périmètre identique a été retenu pour l'émission et le modèle de diffusion (FILLIGER P. 1986).

La figure 2 visualise ces différents périmètres. Un transparent facilitant l'orientation sur les cartes d'émission se trouve à l'intérieur du dos de couverture.

2. BUTS DE L'ETUDE DES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES

Comme l'a déjà indiqué le chapitre précédent, l'étude des émissions atmosphériques doit nous renseigner sur le contexte spatial et temporel de l'émission. L'émission peut être comprise comme le rejet de polluants dans l'atmosphère par les activités humaines. De manière très sommaire, l'homme engendre des émissions atmosphériques lorsqu'il chauffe les locaux où il vit, lorsqu'il produit des biens et lorsqu'il se déplace autrement que par sa force musculaire. Ces trois genres d'activités correspondent aux trois **groupes d'émetteurs** classiques que l'on retrouve, avec de nombreuses variantes quant à la définition exacte, dans la majorité des études de pollution atmosphérique: chauffage domestique, industrie et trafic (généralement limité au trafic routier). Ils font l'objet d'une discussion plus étendue au chapitre 3.2, de même que les polluants envisagés.

Ces quelques précisions permettent d'aborder avec plus d'assurance les buts de l'étude des émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne.

On peut tout d'abord considérer l'agglomération de Bienne comme unité spatiale et indiquer les quantités de polluants émises par l'ensemble de la région durant une période de temps unitaire, par exemple l'année, afin de pouvoir la situer par rapport à d'autres régions. Les polluants émis ayant des caractéristiques physiques et chimiques ainsi qu'une toxicité très différentes, ce premier inventaire devra être fait séparément pour chaque polluant.

Cette première approche peut être complétée en précisant, toujours pour l'ensemble de la région, la part des trois groupes de sources. On obtient ainsi un aperçu succinct de l'émission, indiquant les quantités absolues de chaque polluant et la part de l'industrie, du trafic et du chauffage domestique. Ce résultat, apparemment si simple, est déjà utile: il permet d'une part de situer la région par rapport à d'autres et, d'autre part, de dégager les groupes de sources prépondérants pour les différents polluants. Au niveau régional, cette information peut suffire pour prendre des options quant à l'habitat, la politique des transports ou celle de l'énergie, ou pour dessiner les grandes lignes d'une lutte efficace contre la pollution atmosphérique.

La nature géographique de l'étude n'apparaît toutefois vraiment que lorsqu'on se penche sur la structure spatiale des émissions à l'intérieur de l'agglomération biennoise, cherchant à dégager l'emplacement des sources et la densité des émissions. L'information fournie permet de dégager les zones d'émission élevée et, partant, de déterminer les quartiers et les émetteurs à assainir.

L'optique du projet "Climat et qualité de l'air dans la région biennoise", qui accorde une grande importance aux conditions de dispersion des polluants, incite à envisager de plus près les fluctuations temporelles de l'émission, un aspect fort souvent négligé (p.ex. EMPA 1974) ou traité sommairement (p.ex. BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980: 13; DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 52) dans les études d'émission jusqu'à ce jour.

En résumé, les résultats scientifiques escomptés du présent travail sont le montant total des émissions, la part des groupes de sources, la répartition spatiale des émissions et enfin leurs fluctuations temporelles. Ces deux derniers volets soulignent le caractère géographique de l'étude. Des revendications méthodiques et pratiques viennent s'ajouter à ces exigences scientifiques.

Le principe de la **reproductibilité des résultats** s'applique particulièrement ici du fait que les mandataires de l'étude sont des praticiens et que les résultats ont un certain potentiel politique. La démarche doit être explicite, d'une part pour assurer le dialogue entre spécialistes et éviter certaines polémiques, d'autre part pour permettre de tenir les données à jour. La portée pratique de l'étude augmente considérablement si l'actualisation des données peut être garantie (REG. PLANUNGSGEMEINSCHAFT UNTERMAIN 1977: 9).

Les études d'hygiène de l'air sont d'une grande actualité: le grand public et les médias sont très sensibilisés à leurs résultats. La possibilité que les universitaires sortent de leur tour d'ivoire est donc offerte. Relever ce défi, c'est accorder un poids particulier à la présentation des résultats: les conclusions doivent être claires, immédiates; le graphisme doit particulièrement soutenir l'information. C'est pourquoi le chapitre 6.2 lui est expressément consacré.

Les résultats doivent permettre de situer la pollution atmosphérique de la région biennoise au niveau de l'émission. Dans ce sens, ils forment une base de travail pour les responsables locaux et cantonaux de la protection de l'air: Au départ, ces résultats doivent leur permettre d'évaluer la situation actuelle de l'émission. Lorsque les valeurs d'émission sont actualisées, quelques années plus tard, les responsables doivent pouvoir vérifier l'efficacité des mesures

d'assainissement qu'ils ont entreprises, comme le montre bien l'Ordonnance fédérale sur la protection de l'air du 16 décembre 1985 (CONFEDERATION SUISSE 1986: RS 814.318.142.1.)

Ces mesures curatives sont avant tout techniques. L'aménagiste régional et l'urbaniste peuvent prendre des mesures de nature plus préventive, moins visiblement liées à la pollution atmosphérique mais indispensables à long terme, en jouant sur les zones à bâtir et la planification du trafic, par exemple. La présentation des résultats de l'étude des émissions doit donc également tenir compte de ces utilisateurs, en utilisant par exemple des divisions de l'espace, des unités spatiales, des données statistiques et des échelles cartographiques qui leur sont courantes.

Enfin, la participation au projet "Climat et qualité de l'air dans la région biennoise" pose également certaines contraintes. En particulier, les données d'émission servent de base aux modèles de dispersion (FILLIGER 1982: 42-45) et doivent donc être compatibles avec ceux-ci quant à leur résolution spatiale et à leur précision. Comme les modèles de dispersion utilisés à Bienne sont antérieurs à nos résultats définitifs quant aux fluctuations temporelles de l'émission, ils reposent sur des hypothèses plus simples à ce sujet (FILLIGER 1986: 44-45) mais tout à fait comparables.

En résumé, le présent travail doit répondre simultanément à des objectifs scientifiques précis et à des exigences pratiques élevées de la part de ses utilisateurs potentiels. Cette double nature de l'ouvrage en fait sa difficulté, mais aussi son intérêt.

3. METHODES

Ce chapitre est subdivisé en deux sections. La première vise à dégager quelques aspects communs essentiels des études sur les émissions atmosphériques. La seconde traite en détail les méthodes appliquées à l'agglomération de Bienne.

3.1 Généralités

Parmi les traits généraux des études consultées, la perspective générale des études, le caractère évaluatif des méthodes et le lien entre l'échelle spatiale et le choix de la démarche paraissent essentiels.

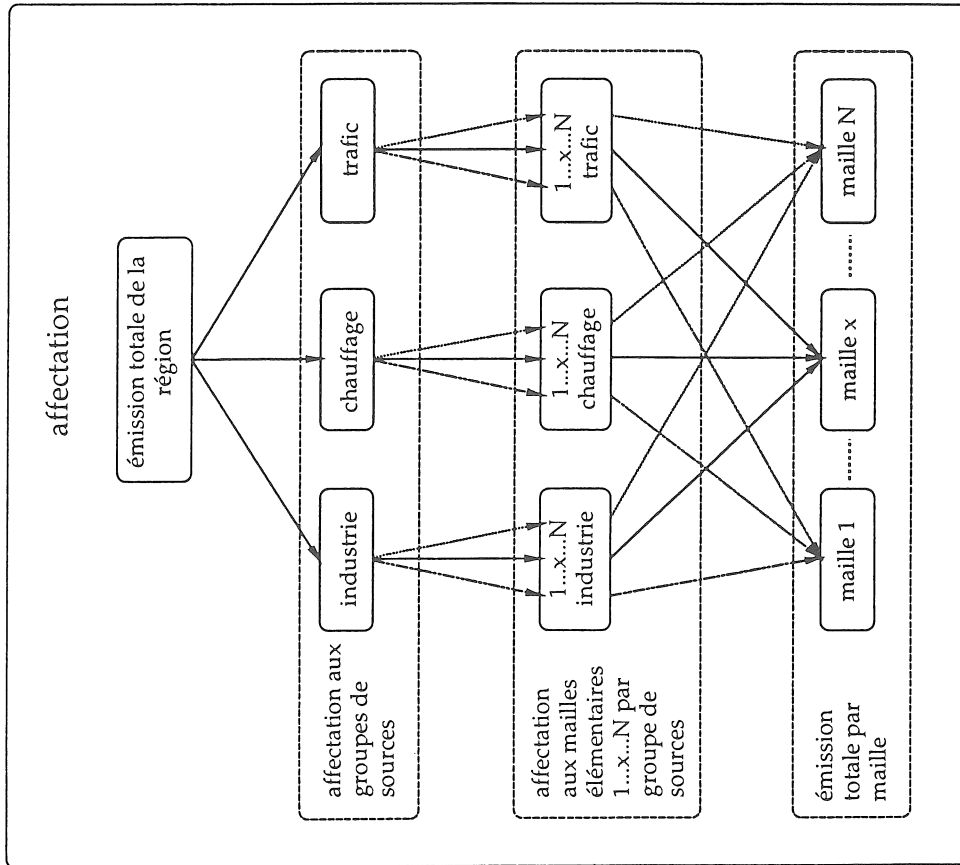
3.1.1 Les deux approches possibles

Lorsqu'on cherche à définir les émissions atmosphériques d'une région et leur répartition spatiale à l'intérieur de celle-ci, deux voies diamétralement opposées sont offertes. La première consiste à déterminer tout d'abord l'émission globale de la région pour la répartir ensuite dans l'espace selon une clé bien précise. Cette démarche pourrait être appelée **affectation**. La seconde possibilité, de loin la plus fréquente, revient à déterminer d'abord l'émission de chaque source ou de chaque surface élémentaire puis à additionner ces émissions individuelles pour trouver l'émission globale de la région, une méthode qu'il convient de qualifier d'**agrégation**.

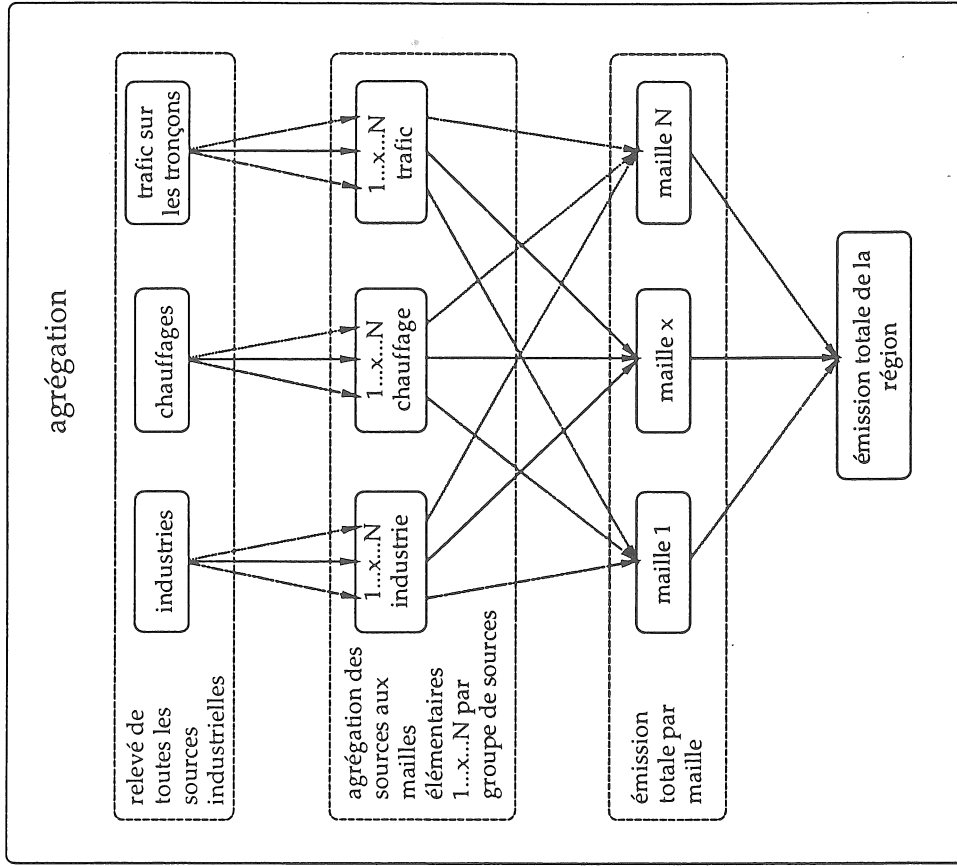
Deux exemples caractérisent ces démarches (Figure 3):

Le cadastre des émissions SO_2 1985 pour la Suisse et le Liechtenstein (BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980: 2-5) illustre bien la méthode dite d'affectation. L'hypothèse sous-jacente au travail est que l'émission d'anhydride sulfureux est fonction directe de la consommation totale de combustibles et de carburants fossiles en Suisse par le biais de la teneur en soufre de ces derniers (cf. 3.2.3). Cette consommation totale est considérée comme équivalente aux importations annuelles. L'émission est calculée pour l'ensemble du territoire puis répartie selon six groupes de sources (Fig. 3). Finalement, les groupes de sources sont répartis sur les surfaces élémentaires qui correspondent au découpage de la carte topographique nationale à l'échelle 1:50'000, soit 24 x 35 kilomètres. La clé de répartition varie d'un groupe d'émetteurs à l'autre. Pour les

Figure 3 Les deux démarches possibles pour le relevé des émissions



principe très généralisé selon: BUNDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1980



principe très généralisé selon DER HESSISCHE MINISTER FÜR LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982

groupes "Chauffage et préparation d'eau chaude" et "transports", elle repose, par exemple, sur la densité de population. Cette démarche ne peut être appliquée qu'à une région qui forme une unité politique et économique close, comme un pays. Elle n'est pas envisageable pour l'agglomération biennoise.

En Allemagne (République fédérale), les relevés d'émission sont prescrits par la loi sur la protection contre les immissions (Bundes-Immissionsschutzgesetz BImSchG) qui fixe également en grande partie les méthodes à utiliser. Les travaux allemands sont représentatifs de la méthode dite d'agrégation, qu'ils poussent à un degré de détail souvent exemplaire, grâce à un engagement financier considérable. Parmi ces études, le cadastre d'émission de la région de Wetzlar (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 1982: 28-29, 50-51, 67) est particulièrement intéressant (Fig. 3), car la taille de la région envisagée et les groupes de sources qu'on y trouve peuvent être aisément comparés à ceux de l'agglomération biennoise. Dans la région de Wetzlar, l'émission est d'abord déterminée pour les émetteurs individuels. Les grands émetteurs industriels sont relevés par le biais d'enquêtes (les déclarations d'émission prescrites par le BImSchG), les émissions dues au chauffage domestique sont établies sur la base des données structurelles de la région, la pollution produite par le trafic est calculée à partir de comptages sur les routes importantes et de données structurelles dans les quartiers. L'émission est ensuite agrégée par groupe de source, d'une part, et selon les surfaces élémentaires, d'autre part. L'émission totale est déterminée par somme des groupes de sources. Cette démarche est adéquate à l'échelle régionale et locale, lorsqu'une résolution spatiale élevée est expressément recherchée. C'est la démarche générale retenue pour l'agglomération de Bienne.

3.1.2 Le caractère évaluatif des méthodes

Les deux exemples présentés ci-dessus mettent en évidence le trait commun essentiel de tous les relevés régionaux de l'émission: le caractère fondamentalement **évaluatif** des méthodes utilisées. Le recours à l'évaluation n'est pas délibéré, mais dicté par des contraintes pratiques.

Mesurer est certainement la manière la plus exacte de déterminer les émissions. Son application systématique à l'échelle d'une région se heurte à des difficultés pratiques et techniques. Au niveau pratique, le nombre d'émetteurs à mesurer suffit à condamner cette méthode pour des raisons d'organisation, de personnel et de finance. Au niveau technique, la mesure d'émission demande des instruments complexes et onéreux ainsi qu'un personnel qualifié. Une difficulté scientifique

notoire vient s'ajouter à ces problèmes: la question de l'échelle de temps. Les relevés régionaux de l'émission se rapportent généralement à une période d'une année. Or, sauf dans le cas d'équipements de mesure installés en permanence par les propriétaires de l'installation ou par l'Etat, fait encore extrêmement rare en Suisse, la mesure d'émission se limite généralement à des périodes très courtes, variant de quelques minutes à quelques jours. Le passage de ces valeurs de mesure, souvent exprimées comme flux ou comme rapports volumétriques, à des valeurs d'émission annuelles gravimétriques est loin d'être évident. Ainsi la précision initiale de la mesure est sérieusement amoindrie par l'extrapolation nécessaire.

En l'absence de mesures ou de données d'émission établies, le chercheur doit recourir à des **méthodes évaluatives**. Le problème revient à trouver des variables simples et clairement définies à partir desquelles on peut, avec une précision suffisante, calculer l'émission par transformation. Ces variables ne seront naturellement pas identiques pour tous les groupes de sources. Considérons-les brièvement:

L'émission due au chauffage des bâtiments (locatifs, mixtes, industriels, administratifs, publics ...) est une fonction directe de la consommation des installations de chauffage et de l'agent énergétique (huile, gaz, charbon, bois ...) utilisé. Comme la consommation d'énergie de chauffage d'un bâtiment est rarement disponible sous forme de données directes, il faudra, pour les mêmes raisons que pour l'émission, l'évaluer à partir d'autres critères, tels que la surface chauffée des bâtiments ou le nombre de logements. Enfin la consommation d'énergie de chauffage varie en fonction de la température atmosphérique.

L'émission due au trafic routier dépend également de la consommation d'énergie et de l'agent énergétique (essence, huile diesel) si l'on considère le comportement de chaque véhicule. Cette consommation variera en fonction de la vitesse de l'automobile et l'on peut déterminer une consommation et, partant, une émission spécifique par véhicule pour une vitesse donnée (voir p. ex. BASLER & HOFFMANN 1979). Lorsqu'on envisage l'émission due au trafic routier sur l'ensemble d'une ville, il faut déterminer pour chaque tronçon de route le débit du trafic (véhicules par unité de temps) et sa vitesse moyenne. Pour les quartiers résidentiels à faible circulation, le trafic est souvent évalué selon d'autres paramètres, tels que la densité de population (p. ex: DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 67).

Le calcul de l'émission due aux processus industriels est plus complexe. La diversité des processus ne permet pas de démarche généralisée. Suivant le cas, l'émission dépendra du produit fabriqué, des matières premières ou d'autres pro-

duits nécessaires à la fabrication, comme des solvants, des lubrifiants ou des diluants. L'évaluation se fera parfois pour des groupes de processus, mais généralement individuellement sur la base de mesures, de renseignements fournis par l'entreprise ou par les fournisseurs des installations et des produits ainsi que selon de nombreuses études hautement spécialisées portant sur des polluants, comme les dioxines et les furanes (OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 1982), sur des techniques, telles que la production d'acier par voie électrothermique (ARBEITSGRUPPE "STAND DER TECHNIK" 1974) ou sur des installations, par exemple sur les machines à dégraisser les métaux par des solvants chlorés (CENTRE DE MEDECINE DU TRAVAIL 1976).

La plupart des études régionales sur les émissions atmosphériques reposent sur ces principes généraux. La nature évaluative des méthodes peut entraîner une marge d'erreur assez considérable. Dans cette perspective, les mesures d'émission sont un complément indispensable des évaluations: elles permettent de les vérifier ou de les étalonner. Pour l'agglomération de Bienne, les méthodes considérées sont également évaluatives et reposent de manière très générale sur les principes énoncés ci-dessus pour les différents types d'émetteurs. Dans la mesure du possible, des mesures d'émission ou de consommation d'énergie ont été utilisées pour l'étalonnage des fonctions.

3.1.3 L'échelle spatiale

Il convient de relever brièvement un aspect qui paraît trivial à première vue: les méthodes évoluent également en fonction de la taille de la région étudiée. Lorsque la région est très vaste, comme l'Europe occidentale (OCDE 1981) ou la Suisse (BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980), l'on a plutôt recours à des variables socio-économiques telles que le produit intérieur brut, la densité de population ou le montant des importations de combustibles. Pour des régions de petite taille, telles que des villes (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982) ou des cantons suisses (AMT FUER TECHNISCHE ANLAGEN UND LUFTHYGIENE 1983; BRUEGGER T. et DESCLOUX M., 1987) on utilise de préférence des données physiques plus aisément vérifiables telles que, par exemple des consommations d'énergie, des cubatures de bâtiments ou des recensements de trafic.

Il existe également un lien entre la taille de la région considérée et l'unité spatiale utilisée pour la représentation cartographique des résultats. La plus grande surface unitaire utilisée dans la bibliographie consultée correspond à un rectangle de $1/2^\circ$ de latitude sur 1° de longitude, ce qui équivaut à environ 1050 km^2 à la latitude de la Suisse (OCDE 1981: 71). La plus petite surface

Table 1 : Résolution spatiale de quelques études d'émission récentes

<u>Source</u> (cf. bibliographie)	<u>Région étudiée</u>	<u>Superficie</u> km ²	<u>Maille</u>	<u>Résolution</u> (maille/superficie)	<u>Précision</u> (mailles/km ²)
OCDE 1981	Europe occidentale	2'391'450	4226 ¹⁾	1:566	0.0002
MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1982	Rheinschiene Mitte (Düsseldorf et environs)	356	1	1:356	1.
HESSISCHER MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UM- WELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982	Région de Wetzlar	88	1	1:88	1.
EMPA 1974	Suisse	41'288	1064 ²⁾	1:39	0.0009
BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980	Suisse	41'288	840 ³⁾	1:49	0.0012
AMT FUER TECHNISCHE ANLAGEN UND LUFTHYGIENE 1983	Canton de Zürich	1'729	1	1:1729	1.
BERLINCOURT 1987 (présent travail)	Bienne et agglomération	64	0.01	1:6400	100.
BRUEGGER T. et DESCLOUX M. 1987 (rapport intermédiaire)	Canton de Fribourg	1'669	0.01	1:166'900	100.

1) la maille correspond à 1° de longitude et 1/2° de latitude soit environ 4226 km² à la latitude de la Suisse

2) la maille correspond à 1/2° de longitude et 1/4° de latitude soit environ 1064 km²

3) la maille correspond à une carte topographique suisse 1:50'000, soit 24 x 35 = 840 km²

unitaire est l'hectare ($100 \times 100 \text{ m} = 0,01 \text{ km}^2$), unité retenue pour l'étude biennoise et pour le canton de Fribourg (BRUEGGER et DESCLOUX, 1987). Le kilomètre carré est une unité fréquemment utilisée. La résolution spatiale peut être définie comme le nombre de surfaces unitaires compris dans l'ensemble de la région étudiée, indépendamment de sa taille. La table 1 fait ressortir la résolution spatiale de quelques études caractéristiques. Lorsque le nombre de surfaces est faible, l'interprétation spatiale des résultats est limitée, particulièrement lorsque les surfaces unitaires sont grandes.

La présente étude considère une région de très faibles dimensions avec une haute résolution spatiale. De ce fait, elle requiert des variables d'origine et des fonctions particulièrement fiables.

3.2 Méthodes envisagées pour l'agglomération biennoise: aspects généraux

Ce chapitre est consacré aux méthodes utilisées ou élaborées dans le cadre de la présente étude. Il comprend tout d'abord trois sections sur les polluants, la définition des groupes d'émetteurs et les facteurs d'émission. Sur cette base, les méthodes permettant d'évaluer l'émission sont traitées séparément pour les groupes d'émetteurs chauffage, trafic et industrie. Enfin, les principes permettant d'estimer les fluctuations temporelles de l'émission complètent le chapitre.

3.2.1 Polluants considérés

Les polluants peuvent être subdivisés en deux groupes, les polluants primaires, émis directement par les sources, et les polluants secondaires, créés dans l'atmosphère par réaction chimique de polluants entre eux ou avec les composants naturels de l'atmosphère (STERN A.C. et al. 1973: 43). Le monoxyde de carbone CO ou l'anhydride sulfureux SO₂ sont des polluants primaires résultant de la combustion alors que l'ozone O₃ est un polluant secondaire. Les conditions de sa formation sont présentées brièvement par OKE (1978: 283) et FILLIGER (1986: 114ss). Une description plus approfondie se trouve chez SEINFELD (1986). Il ressort de ces considérations que **les études d'émission ne considèrent que des polluants primaires.**

Le choix des polluants considérés dépendra de critères assez précis qui varieront en fonction de l'ampleur de l'étude et des traits particuliers de la région considérée. Parmi ces critères, relevons:

- L'état des connaissances sur le polluant. Pour une étude régionale des émissions, les polluants considérés doivent être bien connus. Il faut en particulier connaître les émetteurs possibles, les conditions d'émission et les facteurs d'émission (cf. 3.2.3).
- La fréquence du polluant. Si l'on recherche une répartition spatiale significative, le polluant envisagé doit être rejeté en quantités importantes par un grand nombre d'émetteurs. Une carte d'émission vierge à l'exception d'un ou deux points est de très faible utilité (p. ex. émission annuelle de phénol; MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN- WESTFALEN 1982: 92).
- Le comportement du polluant après l'émission, c'est-à-dire la durée de sa présence dans l'atmosphère, les transformations chimiques et physiques qu'il peut y subir et les caractéristiques d'immission qui en résultent. Ce critère est particulièrement important lorsque les données d'émission servent de base pour des modèles de dispersion comme dans le projet biennois.
- La caractérisation d'un ou, de préférence, de plusieurs groupe(s) d'émetteurs ou processus d'émission par le polluant considéré. Ce critère permet de mesurer plus précisément l'importance relative d'un type d'émetteurs et d'estimer l'efficacité des mesures d'assainissement envisageables.
- Les effets néfastes du polluant. Il ne s'agit pas seulement de la toxicité du produit pour l'homme, mais également des effets éventuels sur les écosystèmes (forêts, cultures, lacs et rivières) et sur les matériaux (p. ex. corrosion des métaux; STERN A.C. et al. 1973: 100 - 104). Il faut remarquer que les polluants hautement toxiques sont peu fréquents, de par leur toxicité même. De ce fait, ils se prêtent assez mal à une étude d'émission à l'échelle régionale.

Il convient de relever qu'on cherchera généralement en vain une liste de tels critères dans la littérature spécialisée. Le choix des polluants est empirique dans la plupart des cas et dénote également un certain conformisme dans les milieux scientifiques, les polluants étant choisis par analogie avec les études antérieures. A vrai dire, le présent travail ne fait pas exception et les critères ci-dessus ont été établis a posteriori. Une réflexion plus approfondie à ce sujet permettrait de dissiper quelque peu le malaise que doivent éprouver les esprits rigoureux face au choix des polluants dans bien des études.

Dans le cadre de l'étude des émissions de l'agglomération de Bienne, les polluants suivants ont été retenus:

- **Dioxyde de soufre, SO₂.** C'est un des polluants les mieux connus, parce qu'il a préoccupé les chercheurs très tôt mais aussi parce que son comportement physico-chimique est relativement simple. Il est également aisé de détecter ce polluant. Le SO₂ est caractéristique des installations fixes de combustion servant au chauffage ou à certains processus industriels (cimenterie, fabrication de briques et tuiles, traitement de certains métaux). Il "représente environ 95% des émissions de soufre provoquées par l'homme" (OCDE 1981: 29). Au cours de son séjour dans l'atmosphère, le dioxyde de soufre est transformé en sulfite et bisulfite (SO₃ et HSO₃) puis en sulfate (SO₄). Ce processus prend plusieurs jours et les distances de dispersion peuvent donc atteindre quelques milliers de kilomètres. Parmi les effets, on retiendra la corrosion atmosphérique des matériaux (OCDE 1981: 76 - 77), les dommages à la végétation par l'acidification des écosystèmes (OCDE 1981: 87), les effets sur la santé au niveau des voies respiratoires (MARTY et al. 1985) et de l'acidification des eaux (OCDE 1981: 114).
- **Oxydes d'azote, NO_x.** L'expression NO_x recouvre tous les oxydes d'azote, c'est-à-dire essentiellement le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO₂ (FILLIGER P. 1986: 81). Les oxydes d'azote sont un produit de la combustion sous pression et à température élevée (OKE T.R. 1978: 272). De ce fait, ils sont avant tout émis par le trafic automobile mais également par les autres processus de combustion dans l'industrie et le chauffage. A l'émission, le NO_x est composé à près de 95% de monoxyde d'azote NO (FILLIGER P. 1986: 81) qui est toutefois très rapidement transformé en dioxyde d'azote NO₂. Comme la réaction est cyclique, un équilibre dynamique s'établit en vertu des trois équations suivantes (OKE T.R. 1978: 283):

1. NO₂ + lumière ultraviolette → NO + O
2. O + O₂ → O₃
3. O₃ + NO → NO₂ + O₂

Cet équilibre est rompu en présence d'hydrocarbures réactifs HC, également produits par les moteurs à explosion, qui forment des radicaux organiques par oxydation (HCO*), ce qui permet la formation de smog photochimique selon les équations suivantes (OKE T.R. 1978: 283):

Table 2 Emissions d'hydrocarbures caractéristiques du chauffage, du trafic routier et de deux processus industriels courants dans la région biennoise

<u>Emetteur, procédé</u>	<u>Composants</u> (principaux)	<u>Effets, propriétés</u> toxicité (tox=chiffre) ¹ cancérogène (canc=chiffre) ¹	<u>Remarques</u>
<u>Chauffage</u> ² (installations fonctionnant à l'huile EL et au gaz naturel=	Oléfines Aldéhydes Composés aromatiques Hydrocarbures polycycliques aromatiques (PAH)	irritants ³ benzène (canc=3) cancérogènes	produits de combustion résidus imbrûlés émission plus faible pour le gaz, émission faible ⁴ par rapport au trafic
<u>Trafic routier</u> voitures légères à essence et Diesel	<u>Composés aromatiques:</u> - Toluène - Benzène - Ethylbenzène <u>Oléfines :</u> - Ethylène - Propylène <u>Alcools:</u> - Méthanol - Ethanol <u>Aldéhydes:</u> - Formaldéhyde <u>Nitrites d'alcolyle:</u> - Nitrite de méthyle - Nitrite d'éthyle Hydrocarbures polycycliques aromatiques (PAH)	tox=2 canc=3 tox=2 tox=3 tox=3 tox=1 cancérogènes	résidus imbrûlés généralement volatiles produit de combustion résidus imbrûlés irritants, allergènes cancérogène potentiel produits de combustion
<u>Procédés de peinture</u>	les solvants sont émis ⁵ . Ils comprennent essentiellement les produits suivants ⁶ :		les fabricants suisses de vernis et peinture font appel à ces produits dans les proportions suivantes ⁶ : ./.

Table 2: suite

<u>dégraissage de</u> <u>pièces</u> ⁷	<u>Aromates:</u>		49,3%
	- Toluène	tox=2	
	- Xylène	tox=2	
	- Naphtalène	tox=2	
	<u>Aliphates:</u>		14,4%
	- Benzine pour vernis		
	- Sangayol		
	<u>Hydrocarbures chlorés</u>		1,7%
	- Chloride de méthylène		
	<u>Alcoolo:</u>		10,5%
	- Ethanol	tox=3	
	- Alc. d'isopropyle		
	- Alc. d'isobutyle		
	- Alc. de n-butyle		
<u>Acétates:</u>		13,2%	
- Ac. d'éthyle	tox=3		
- Ac. d'isobutyle	tox=3		
- Ac. de n-butyle			
<u>Alcools et acétates d'éther</u>		5,3%	
- Ethylglycol	tox=2		
- Ac. d'éthylglycol			
<u>Cétones:</u>		5,6%	
- Acétone	tox=3		
- éthylméthylcétone	tox=3		
trichloréthylène	tox=2		
perchloréthylène	tox=2		
1-1-1 trichloréthane	tox=2		

Remarque : Cette table a un caractère strictement indicatif et n'est certes pas exhaustive.

Source : (cf. bibliographie=

- 1) DEPARTEMENT FEDERAL DE L'INTERIEUR 1984: 38-45
- 2) RAT VON SACHVERSTAENDIGEN FUER UMWELTFRAGEN 1981: 29-33, 172, 174
- 3) PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT EN SUISSE 2/1985: 18-19
- 4) RAT VON SACHVERSTAENDIGEN FUER UMWELTFRAGEN 1981: 33
- 5) Communication orale de l'OFPE (U. Jansen)
- 6) Communication écrite du 1.12.1983 de l'Union suisse des frabricants de vernis et peintures. Sur la base d'une enquête menée en 1976 auprès de 46 entreprises membres.
- 7) CENTRE DE MEDECINE DU TRAVAIL 1976: 3

4. O + HC	HCO*
5. HCO* + O ₃	HCO ₃ *
6. HCO ₃ * + NO	HCO ₂ * + NO ₂
7. HCO ₃ * + HC	aldéhydes, cétones, etc.
8. HCO ₃ * + O ₂	O ₃ + H ₃ O ₂ *
9. HCO _x * + NO ₂	péroxy-acétyle nitrate (PAN)

Par ces mécanismes, les émissions de NO_x ont, en plus de leurs effets directs, par exemple comme irritants des yeux et des voies respiratoires, des conséquences à grande distance, notamment dans le contexte du dépérissement des forêts par le biais des photo-oxydants (RAT VON SACHVERSTAENDIGEN FUER UMWELTFRAGEN 1983: 87 - 88).

- **Gaz et vapeurs organiques ou hydrocarbures, HC.** On regroupe sous cette dénomination tous les hydrocarbures émis. En considération de la très grande variété de produits organiques, cette simplification est certes contestable. Toutefois, vu l'état des connaissances et les fréquences très différentes des diverses familles d'hydrocarbures (aromates, benzines, alcools, etc.), une différenciation des hydrocarbures dans le cadre d'une étude régionale serait des plus hasardeuse. Il est préférable de garder à l'esprit les substances organiques caractéristiques des différents émetteurs, résumées par la table 2. Les hydrocarbures sont essentiellement produits lors de la combustion de combustibles fossiles et de bois, mais également par évaporation de l'essence dans les réservoirs et les systèmes de carburation des véhicules automobiles. De ce fait, l'automobile est le principal émetteur d'hydrocarbures. Il convient d'y ajouter de nombreux processus industriels difficilement saisissables car l'émission de substances organiques est souvent diffuse (p. ex. évaporation de solvants et diluants). Les hydrocarbures interviennent particulièrement lors de la formation de smog photochimique (voir ci-dessus) et sont en partie nettement cancérigènes (PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT EN SUISSE 2/1985: 17 -20).

D'autres polluants ne sont pas considérés dans le cadre de ce travail. En particulier, nous avons renoncé au **monoxyde de carbone CO** qui est essentiellement produit par le trafic routier, car la relation est si évidente que la représentation des axes routiers (figure 9, p. 65) en donne une approximation suffisante. Le poids spécifique élevé du CO et sa courte durée de vie limitent sa dispersion aux abords immédiats des routes et à la proximité de la surface du sol, si bien que l'intérêt de ce polluant dans la perspective du projet biennois est également restreint. Toutefois, des valeurs hectométriques d'émission de monoxyde de carbone par le trafic routier existent pour Bienne. Elles ne sont pas

dans ce travail. De même, l'émission de **poussières et particules** n'est pas présentée dans ce rapport final bien que les données existent pour le chauffage et l'industrie, en raison de la trop grande diversité des substances mises en cause et des incertitudes qui en résulteraient.

En bref, l'étude des émissions de l'agglomération de Bienne se restreint à un polluant caractéristique des chauffages à huile (domestiques et industriels), le **dioxyde de soufre**, un polluant émis essentiellement par le trafic et certains processus industriels, le groupe des **hydrocarbures** et un polluant produit par les trois groupes de sources, mais avant tout par le trafic routier, les **oxydes d'azote**.

3.2.2 Définition des groupes de sources

Les méthodes de relevé sont différentes pour les divers groupes d'émetteurs et la définition de ces groupes varie d'une étude à l'autre (cf. 3.1.2). C'est pourquoi il convient de préciser d'abord la définition des groupes de sources retenue pour l'agglomération de Bienne.

Notre étude considère trois groupes de source: le chauffage domestique, l'industrie et le trafic routier.

a) Chauffage domestique

Le groupe de sources **chauffage domestique** comprend le chauffage de tous les bâtiments, à l'exception des édifices relevés sous la rubrique industrie (voir ci-dessous), c'est-à-dire:

- les maisons familiales
- les immeubles locatifs
- les immeubles à fonction mixte
- les immeubles commerciaux, y compris les grandes surfaces
- les entreprises d'arts et métiers
- les bâtiments industriels qui ne répondent pas à la définition de l'industrie (ci-dessous)
- les édifices publiques (administration, écoles, églises, hôpitaux, gares, etc.)

Comme dans les études des émissions à Wetzlar et en Westphalie (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982 et MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFA-

LEN 1980 et 1982), les émissions dues au chauffage dans les entreprises d'arts et métiers sont rattachées au groupe de sources chauffage domestique. Les émissions qui pourraient provenir des travaux effectués dans ces entreprises ne sont pas relevées pour deux raisons: premièrement, nous avons admis que ces émissions étaient minimales dans l'ensemble, en particulier par rapport au trafic automobile et à l'industrie; deuxièmement, le relevé de ces émissions aurait dû se faire par enquête, comme pour les entreprises industrielles, et le rapport entre l'effort et les résultats potentiels était inacceptable. Les quelques enquêtes effectuées dans les entreprises industrielles de petite taille (moins de 15 employés dans la production) ne font que confirmer ce point de vue.

Les combustibles considérés sont l'huile extra-légère et le gaz naturel. Une étude plus détaillée des chauffages de la commune de Nidau a montré que la part des chauffages à bois et à charbon est insignifiante.

b) Définition du groupe de source trafic routier

Les émissions dues au **trafic routier** dépendent de deux groupes de facteurs: les facteurs spécifiques du trafic et les facteurs spécifiques des véhicules (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 67).

Les facteurs spécifiques des véhicules, tels que le type de moteur, le genre de carburation, le taux de compression, la cylindrée etc, sont exprimés par les facteurs d'émission présentés au chapitre 3.2.3.

Les facteurs spécifiques du trafic sont, pour chaque tronçon de route considéré, la charge de trafic, c'est-à-dire le nombre de véhicules passant sur ce tronçon durant une période donnée, et la vitesse effective ou commerciale du trafic (cf. 3.2.3 et 3.4.4) ainsi que la composition du trafic ou, autrement dit, la part de chaque catégorie de véhicules (voitures de tourisme, véhicules lourds, motocycles). Si l'on considère toute une région, comme c'est le cas ici, le réseau de route peut également être compris comme un facteur spécifique du trafic, puisqu'il en détermine la distribution spatiale (cf 3.4.2 et 3.4.5).

Comme les études allemandes du début des années quatre-vingts (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 70, 75; MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1982: 51, entre autres), l'étude de l'agglomération de Bienne ne considère que deux catégories de véhicules: les voitures de tourisme et

les véhicules lourds. Elle diffère ainsi des travaux de PELLI (1976, 1977(1), 1977(2)) et de l'étude en cours à Fribourg (BRUEGGER T. et DESCLOUX M. 1987) qui retiennent également les motocycles.

Il convient de mentionner que toutes les études d'émission à ce jour, y compris la nôtre, partent d'une définition assez restrictive du groupe de source de trafic routier, puisque seuls les véhicules en déplacement sont pris en compte. Or il est actuellement prouvé que des émissions importantes de composés organiques volatiles (VOC = volatile organic compounds) émanent également des véhicules stationnés et des stations d'essence (CONCAWE 1986). Il est permis de se demander si ces émissions ne devraient pas être envisagées dans les études régionales des émissions à l'avenir.

c) Définition du groupe de sources industrie

Le groupe de sources **industrie** comprend aussi bien les émissions provenant du chauffage des bâtiments industriels que les émissions liées aux processus industriels. Pour le chauffage industriel, les combustibles suivants sont considérés: huile extra-légère, huile moyenne et lourde, gaz naturel, charbon/coke et bois. Sauf pour une entreprise située en dehors du périmètre des cartes (cf. 1.3), la part du charbon est insignifiante et sert à des processus de fabrication.

Pour définir le groupe de sources **industrie**, nous nous sommes référés à la loi fédérale sur le travail dans l'industrie, l'artisanat et le commerce (Loi sur le travail) du 13 mars 1964 (CONFEDERATION SUISSE 1982, RS 812.1), qui précise à l'article 5, alinéa 2:

"Sont réputées industrielles les entreprises qui font usage d'installations fixes à caractère durable pour produire, transformer ou traiter des biens ou pour produire, transformer ou transporter de l'énergie, lorsque :

- a. L'emploi de machines ou d'autres installations techniques ou bien l'exécution d'opération en série détermine la manière de travailler ou l'organisation du travail et que le personnel d'exploitation comprend, pour ces activités, au moins six travailleurs, ou lorsque
- b. Des processus automatiques exercent une influence déterminante sur la manière de travailler ou l'organisation du travail, ou lorsque
- c. La vie ou la santé des travailleurs sont exposées à des dangers particuliers."

Les entreprises soumises à cette définition ont été relevées. Durant les travaux, il est apparu que le nombre de six employés à l'exploitation était trop bas et la limite a été rehaussée à quinze. Les entreprises comptant moins de personnel d'exploitation ont été rattachées au groupe de chauffage domestique (voir ci-dessus).

Il est certes permis de se demander si les termes de la Loi sur le travail et l'effectif du personnel d'exploitation sont des critères adéquats pour définir l'industrie dans le cadre d'une étude d'émission. Il n'est pas aisé de trouver des critères appropriés parmi les données statistiques usuelles sur l'industrie. Les critères adoptés permettent une classification systématique et univoque qui s'est avérée utile dans la pratique, particulièrement en considération de la région étudiée et du degré de précision recherché.

Considérations générales

Il ressort des trois définitions ci-dessus que l'étude des émissions de l'agglomération biennoise n'envisage pas toutes les sources d'émission possibles mais se limite à des émetteurs quantifiables avec un certain degré de précision (cf. 6.3). Il faut tenir compte de cette restriction lors de l'analyse des résultats.

3.2.3 Facteurs d'émission

Le chapitre 3.1.2 a montré le caractère évaluatif des méthodes, les émissions étant estimées à partir d'autres paramètres. Le lien entre ces paramètres et l'émission d'un polluant est appelé **facteur d'émission**. La qualité des facteurs d'émission varie en fonction du polluant et des processus considérés. Dans le cadre de ce travail, les facteurs d'émission ont été repris de la littérature, les valeurs indiquées par les auteurs suisses étant généralement préférées, car des différences peuvent exister entre les pays en fonction de normes différentes sur la qualité des produits (par exemple teneur en soufre des huiles) ou sur les réglages des installations. Enfin lorsque des valeurs de mesure existent, elles ont été retenues, en particulier en ce qui concerne les processus industriels.

Facteurs d'émission pour le chauffage domestique et industriel

La table 3 présente les facteurs d'émission retenus pour le chauffage domestique et industriel (y compris la préparation de vapeur ou de chaleur pour certains processus):

Les facteurs d'émission pour le SO_2 dépendent directement de la teneur en soufre du combustible et peuvent être considérés comme très exacts. Pour l'huile extra-légère, la teneur en soufre mesurée sur les huiles importées était de 0,31% en 1980 et de 0,25% en 1985.

L'émission d'oxydes d'azote est fonction de la température d'exploitation des installations: elle croît avec la température. Ainsi les facteurs d'émission de NO_x sont des moyennes et l'on constate des écarts considérables lors des mesures. La température est généralement plus élevée dans les grandes installations: c'est ce qui conduit à des facteurs d'émission différents pour le chauffage domestique et pour l'industrie. Par rapport à d'autres études (notamment MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, 1980: 275; ENERGIEFACHSTELLE DER STADT BERN 1985: 7 - 8) le facteur d'émission de NO_x (chauffage domestique) est plus bas pour l'huile extra-légère et plus élevé pour le gaz. Ce choix repose sur les mesures effectuées en 1985 par le Laboratoire cantonal du canton de Vaud (LABORATOIRE CANTONAL 1985) sous mandat de l'Office fédéral de la protection de l'environnement. Son bien-fondé m'a été confirmé oralement à plusieurs reprises par ces instances (VD: ROLLIER, LUY; OFPE: LIECHTI).

L'émission de substances organiques dépendra également des conditions d'exploitation qui auront notamment une influence sur la part d'hydrocarbures imbrûlés.

Les facteurs d'émission pour le chauffage à bois ont été intégralement repris de ENERGIEFACHSTELLE DER STADT BERN (1985: 11). L'incertitude est considérable en ce qui concerne les hydrocarbures, puisqu'on trouve aussi des valeurs de 800 kg/TJ (OPFE, LIECHTI, communication orale). Seuls les chauffages à bois de l'industrie sont considérés dans ce travail. Les unités de bois fournies par les entreprises étaient très disparates. Pour les uniformiser, nous avons utilisé les conversions suivantes:

1 TJ	=	239 x 10 ⁶	kcal
1 kg de bois	=	4000	kcal
1 m ³ de bois	=	500 - 700	kg de bois
1 m ³ (stère)	=	0,6	m ³ de bois
1 kg de bois	=	7	m ³ air

Table 3: Facteurs d'émission pour le chauffage domestique et industriel

Type de chauffage	Combustible	Facteurs d'émission kg/TJ				
		Anhydride sulfureux SO ₂		Oxydes d'azote NOx	Hydrocarbures HC	Particules
		1980	1985			
chauffage domestique	huile EL	145.7 ¹	117.5 ²	40 ³	15	1.25 ⁴
	gaz naturel	0.7	0.7	45	12	0.3
	huile EL	145.7 ¹	117.5 ²	70 ³	10	1.25 ⁴
	gaz naturel	0.7	0.7	90 ³	1	0.3
	huile moyenne et lourde (2-10MW)	907	735	170	15	22
	huile moyenne et lourde (10-100MW)	907	735	200	15	15
	bois	5 ⁴	5 ⁴	60 ⁴	100 ⁴	120 ⁴

1) teneur en soufre mesurée 0,31%

2) teneur en soufre mesurée 0,25%

3) communication orale de l'OFPE (M. Liechti), novembre 1984, sur la base des mesures du Laboratoire cantonal du canton de Vaud

4) Energiefachstelle der Stadt Bern 1985: Emissionsfaktoren für den Bereich Hausbrand und Kleingewerte

autres valeurs selon discussion (téléphonique) avec M. Liechti, OFPE, 15.12.1985

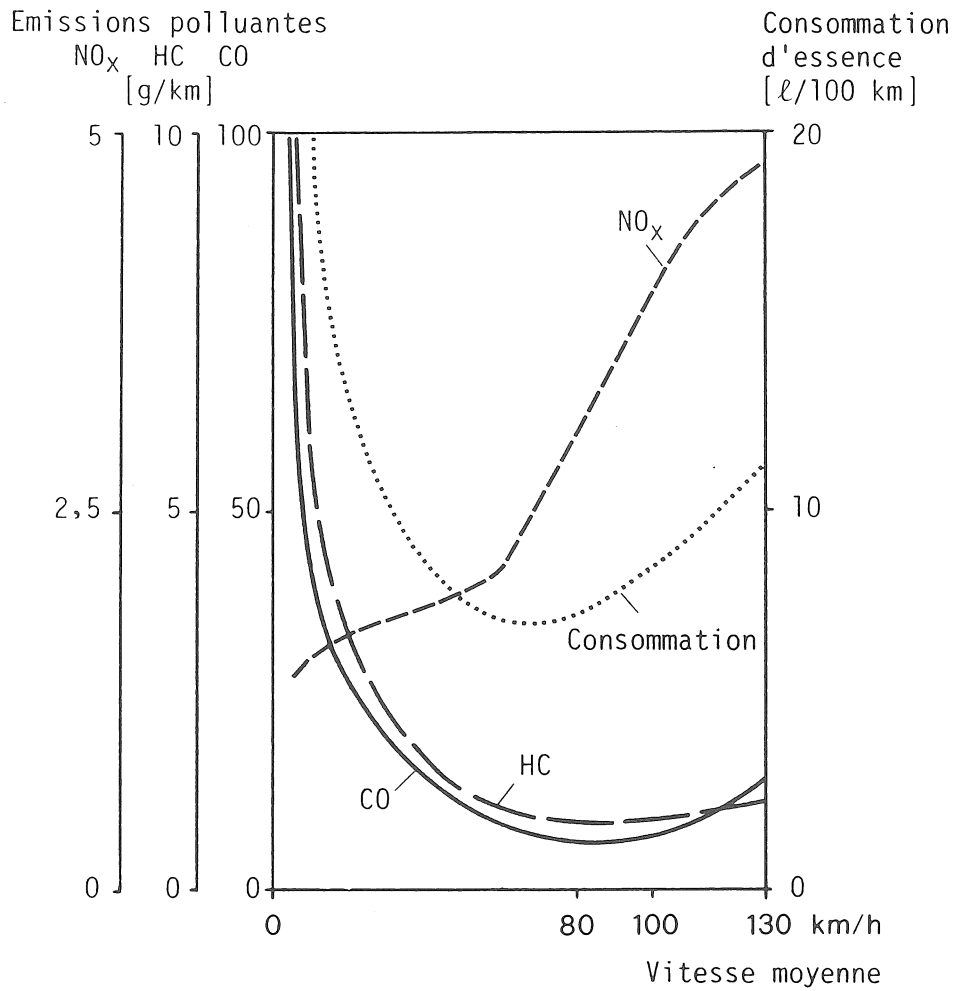
Facteurs d'émission pour le trafic routier

Les facteurs d'émission utilisés pour le trafic routier se rapportent aux véhicules. L'émission spécifique par véhicule est exprimée en quantité de polluant émise par unité de distance parcourue (g/m, g/km).

On utilise des facteurs d'émission différents pour les voitures de tourisme et pour les véhicules lourds ainsi que pour les moteurs à essence et pour les moteurs diesel. L'émission varie également en fonction de la vitesse des véhicules. La vitesse considérée ici n'est pas la vitesse instantanée mais la vitesse moyenne effective ou vitesse commerciale, c'est-à-dire "le rapport entre la distance parcourue et le temps total nécessaire pour la parcourir, y compris les arrêts" (OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 1984: 20). Les facteurs d'émission sont généralement calculés pour un certain nombre de vitesses commerciales standardisées (HASSEL D. et al. 1980) ou de "modes de conduite" (p. ex. BASLER & HOFFMANN 1979), ce qui revient au même dans la pratique (voir aussi 3.4.3). La variation de l'émission en fonction de la vitesse diffère selon le polluant considéré, comme le montre la figure 4, publiée avec l'autorisation de l'Office fédéral de la protection de l'environnement (1984: 28). Les oxydes d'azote sont un produit de la combustion: L'émission de NO_x croît en fonction de la température de combustion (RAT VON SACHVERSTAENDIGEN FUER UMWELTFRAGEN 1981: 28), donc en fonction de la vitesse. Par contre, la part d'hydrocarbures imbrûlés est élevée à bas régime, d'où une émission élevée à faible vitesse. L'émission d'anhydride sulfureux est fonction de la teneur en soufre du carburant utilisé. Pour l'essence, l'EMPA admet une teneur de 0,04% (in PELLI 1977: 19) alors que HASSEL D. et al. (1980: 80) indiquent 0,025%. C'est cette valeur plus récente qui est utilisée ici. Pour l'huile diesel (trafic lourd uniquement), la teneur en soufre admise ici est de 0,31%.

Pour les véhicules légers, les facteurs d'émission ont été déterminés à partir de la figure 4 (OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 1984: 28) pour les vitesses standardisées indiquées par HASSEL D. et al. (1980). Pour l'émission de l'anhydride sulfureux, les valeurs ont été calculées à partir de la courbe de consommation. Pour la vitesse de 1 km/h, les valeurs ont été reprises de SEDE (1983:7). Pour les véhicules lourds, les valeurs ont été reprises de HASSEL D. et al. (1980:120). La table 4 présente les facteurs d'émission utilisés.

Figure 4: Coefficients d'émission et consommation de carburant du parc actuel de voitures de tourisme en Suisse en fonction de la vitesse moyenne effective



Source: Office fédéral de la protection de l'environnement 1984: Réduction des vitesses et émissions polluantes, les cahiers de l'environnement n°22, Berne, mars 1984 (figure 4, p.28)

Table 4: Emission spécifique par véhicule: valeurs utilisées

Vitesse commerciale km/h	Emission spécifique g/km							
	Voitures de tourisme à essence ^{1,2}				Véhicules lourds à moteur Diesel ⁴			
	SO ₂	NO _x	HC	CO	SO ₂	NO _x	HC	CO
1.0	0.630	1.44	33.5	363.0	12.02	62.5	169.3	220.0
6.0	0.101	1.42	10.0	63.0	2.94	21.63	28.22	38.48
13.5	0.063	1.57	4.70	36.0	1.98	17.27		17.48
19.5	0.050	1.67	3.40	28.0	1.75	15.12	8.52	12.33
26.0	0.042	1.75	2.70	23.0	1.60	14.76	6.37	9.04
34.0	0.036	1.80	2.10	18.0	1.52	14.44	4.80	7.00
42.5	0.032	1.90	1.60	14.0	1.44	14.09	3.81	5.45
60.0	0.027	2.12	1.10	8.9	1.36	13.66	2.69	4.15
70.0	0.027	2.60	0.95	7.2	1.50	14.8	2.53	3.00
82.0	0.028	3.12	0.90	6.5	1.63	18.21	2.37	1.97
100.0	0.032	3.95	0.95	7.2	2.0	24.00	2.37	1.97

- 1) OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 1984: 28 (cf.fig. 4)
- 2) Voitures de tourisme à essence sans catalyseur, parc 1984
- 3) calculé en fonction linéaire de la consommation (cf. fig. 4)
- 4) HASSEL D. et al. 1980: 120
- 5) émission spécifique des voitures de tourisme à la vitesse de 1 km/h selon SEDE 1983: 7.

Table 5 : Valeurs d'émission utilisées pour les processus industriels

Processus	Quantité de référence Q1 = produit fabriqué, traité Q2 = produit utilisé Q3 = autre	Valeur d'émission				Remarques, explications
		SO ₂	NO _x	HC	Particules	
Peinture	Q2 = peinture peinture industrielle: 50% solv. peinture pour bois: 80% solv. peinture à 2 composants: 30% solv.			50% Q2 (kg) 80% Q2 (kg) 30% Q2 (kg)		La part des solvants est émise ² . Indications générales pour 3 types courants de peinture selon des fabricants de vernis et peintures.
Peinture ¹	Q2 = vernis d'imprégnation Q2 = vernis Duronen Q2 = solvant			50% Q2 (kg) 25% Q2 (kg) 85% Q2 (kg)		
Fonderie ¹	Q1 = fonte d'acier				0.150 kg/t Q1	Poussière selon mesures, four à arc
Fonderie	Q1 = fonte ⁴ Q2 = consommation d'huile lourde ⁵	3 kg/t Q1	170 kg/TJ	15 kg/TJ	22 kg/TJ	fours assimilés aux fours à cupule facteurs standards huile lourde 1985 (cf. table 3)
Fonderie de métaux précieux ¹	Q3 = air (m3/h)				9 mg/m3 air	suie, selon mesures
Four à scories ¹	Q3 = air (m3/h)				10 mg/m3 air	suie, selon mesures
Incinération de films ¹	Q3 = air (m3/h)				35 mg/m3 air	suie, selon mesures
Incinération de déchets urbains	Q3 = air (m3/h) ⁶ Q1 = déchets urbains	150 mg/m3 _{air}	250mg/m3 _{air}	0.3 kg/t Q1 ²	72 mg/m3 air	valeurs de mesure ./.

Table 5 (2)

Séchage de poudre à lessivel	Q1 = poudre de savon					1 o/oo Q1 (kg)	poussières de savon
Soudure de polyéthylène	Q3 = air m3/h				5 mg/m3 air ²		
Décapage	Q2 = solvant de décapage				Q2 (kg) ²		la totalité du produit est émise (évaporation)
Rinçage de pièces	Q2 = benzine rectifiée				20% Q2 ² (kg)		évaporation
Fabrication de pièces de plastique	Q2 = benzine comme lubrifiant				Q2 (kg)		évaporation
Séchage offset	Q3 = air (m3/h)				20 mg/m3 air		valeur maximale autorisée ⁷
Traitement de pièces en métal	Q2 = charbon (TJ)	800 kg/TJ	220 kg/TJ		12 kg/TJ	230 kg/TJ	facteurs d'émission standardisés ⁸ pour le charbon en tant que combustible ⁵
Cuisson et séchage de briques ^{1,9}	Q2 = huile lourde (TJ)	735 kg/TJ	200 kg/TJ		15 kg/TJ	15 kg/TJ	la chaleur de cuisson est réutilisée pour le séchage. Les valeurs de mesure correspondent aux facteurs d'émission standardisés (table 3)
Fabrication de ciment ⁹	Q3 = temps d'exploitation - exploitation mixte ¹⁰ - exploitation directe ¹⁰ Q3 = air (m3/h) ¹⁰ Q1 = ciment ¹¹	10.3-11.3 kg/h 42.8-49.3 kg/h	1800 mg/m3 air			150 g/t Q1	HC détruits ² température 110-120°C température 180-220°C

Notes : 1 indication de l'entreprise

2 communication orale de l'OPPE

3 voir aussi les indications de l'Union suisse des fabricants de vernis et peintures, table 2

4 valeur pour les fours à cupule selon BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980 : 29

5 hypothèse de l'auteur

6 mesures de l'EMPA effectuées sous mandat de l'entreprise et de l'Office de l'industrie, des arts et métiers et du travail du canton de Berne

7 selon l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air du 16 décembre 1985

8 selon BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980 (2) : 88-B10

9 en dehors du périmètre du cadastre global

10 valeurs de mesure; communication orale de l'Office de l'industrie, des arts et métiers et du travail du Canton de Berne

11 selon TNO 1984: 515

Facteurs d'émission pour les processus industriels

Pour les processus industriels, il n'est que rarement possible de donner des facteurs d'émission généraux, vu l'éventail des techniques de production dans le cadre d'une même branche. Dans la mesure du possible, les valeurs indiquées par les entreprises et les valeurs mesurées ont été utilisées. Dans les autres cas, il a fallu recourir à la littérature spécialisée, à des associations industrielles, aux producteurs des substances utilisées dans les usines de l'agglomération biennoise et discuter les cas individuellement avec des spécialistes (Dr. H. MATHYS, KIGA BERN; Dr. A. STETTLER et U. JANSEN, OFPE). La table 5 donne un aperçu de ces facteurs d'émission en précisant leur origine. Les entreprises désirent garder l'anonymat. Par rapport au rapport intermédiaire sur les émissions industrielles (BERLINCOURT P. 1984), les chiffres sont nouveaux dans bien des cas, soit parce que les connaissances sont plus précises, soit parce qu'il y a eu assainissement.

3.3 Relevé du chauffage domestique

3.3.1 Introduction, données disponibles et principe

Etant donné que l'émission due au chauffage domestique est essentiellement fonction de la consommation de combustibles fossiles (cf. 3.1.2), la difficulté méthodique majeure provient du fait que la consommation effective des bâtiments n'est pas connue: il faut l'estimer en fonction d'autres paramètres.

En Allemagne (République fédérale), la loi fédérale sur la protection contre les immissions prescrit le relevé de certaines variables telles que le type d'installation, le combustible utilisé et la puissance installée, si bien que les méthodes de calcul sont assez standardisées (MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1982: 59; DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 50). Dans le canton de Zürich, le calcul repose sur un cadastre cantonal des bâtiments (AMT FUER TECHNISCHE ANLAGEN UND LUFTHYGIENE 1983: 31 - 33). Toutefois ces ouvrages n'indiquent pas la formule de calcul exacte utilisée ni la valeur attribuée aux constantes.

Pour l'agglomération de Bienne, des données aussi spécifiques concernant les installations n'existent pas (encore). Il a fallu recourir aux données suivantes:

- cubature des bâtiments de la commune de Bienne, répartie par hectare, selon RICKLI B. (1984: 47 - 54);
- consommation effective 1983, puissance installée et coordonnées hectométriques des installations fonctionnant au gaz naturel pour les communes de Bienne, Evilard-Macolin, Nidau, Brügg et Port (données aimablement fournies par le Service du gaz et des eaux de la Ville de Bienne);
- recensement de la population 1980 sous forme de données hectométriques (fournies par l'Office fédéral de la statistique, Berne);
- plans cadastraux des communes de la région (offerts par l'Office d'urbanisme de la ville de Bienne et l'Inspectorat des travaux publics de la commune de Nidau; achetés au Bureau Kauter, Nidau, pour les autres communes);
- plans de zone (offerts par l'Office d'urbanisme de la ville de Bienne et l'Inspectorat des travaux publics de la commune de Nidau, prêtés par le RPLV pour les autres communes);
- contrôle des chaudières à huile de la commune de Nidau (consulté à l'Inspectorat des travaux publics de la commune de Nidau).

Nous avons également tenté de développer des méthodes à partir des registres de taxation des ordures (pour Nidau) ainsi que du cadastre cantonal des citernes par analogie avec l'étude de MAEDLER (1975) sur la ville de Zürich. Ces deux voies ont été abandonnées en raison de l'effort nécessaire et de l'imprécision des résultats.

Au vu de ces données, il est évident qu'il fallait établir des **méthodes indépendantes du type d'installation de chauffage et de la fonction des bâtiments**. La démarche adoptée part du principe général :

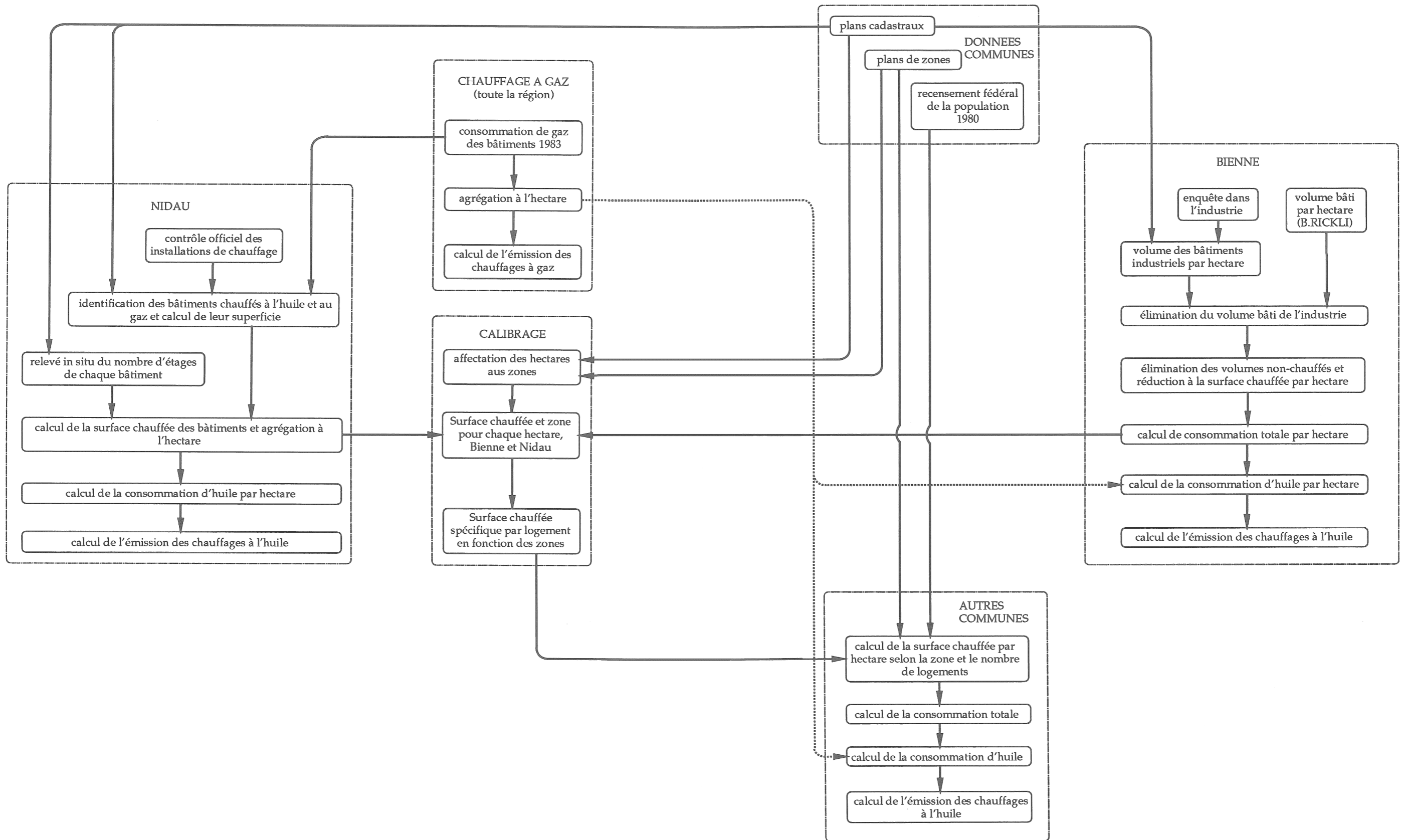
$$\text{consommation d'énergie} = f(\text{taille du bâtiment}) \quad (\text{C-1})$$

BRUEGGER et DESCLOUX (1987) partent de la même hypothèse pour le cadastre d'émission du canton de Fribourg.

La figure 5 donne un aperçu schématique de la démarche utilisée à Bienne, qui comprend quatre phases envisagées plus en détail ci-dessous:

- Etablissement de la méthode à partir de la commune de Nidau;
- Application de la méthode à la commune de Bienne;
- Généralisation de la méthode pour les autres communes de l'agglomération;
- Cas particuliers et corrections.

Figure 5 Chauffage domestique: diagramme méthodique



3.3.2 Etablissement de la méthode à partir de la commune de Nidau

La commune de Nidau a servi de zone expérimentale pour la mise au point des méthodes. Elle s'y prête autant par sa taille (environ 100 hectares présentant une émission au chauffage) que par ses caractéristiques structurelles qui résument bien l'agglomération entière.

La notion de **taille du bâtiment** requiert quelques précisions. Ce qu'il faut connaître ici, c'est une grandeur représentative de la partie chauffée du bâtiment, c'est-à-dire soit le volume chauffé, soit la surface chauffée. Le choix s'est arrêté sur cette dernière, calculée à partir de la relation:

$$\text{surface chauffée} = \text{surface du bâtiment} * \text{nombre d'étages chauffés} \quad (\text{C-2})$$

Le passage de la surface chauffée au volume chauffée et vice-versa se fait par biais d'une hauteur d'étage standardisée de 3 mètres (norme SIA):

$$\text{volume chauffé} = \text{surface chauffée} * \text{hauteur d'étage} \quad (\text{C-3})$$

Les plans cadastraux à l'échelle 1:2000 ont servi à calculer la surface de chaque bâtiment. Le nombre d'étages chauffés a été déterminé lors d'un relevé in situ. Cette visite des lieux a permis de mieux comprendre chaque bâtiment et a fourni une connaissance empirique qui s'est révélée inestimable lors des travaux ultérieurs.

Les données de consommation effective 1983 des installations fonctionnant au gaz naturel ont permis d'identifier les bâtiments chauffés au gaz. Une discussion avec le maître ramoneur de la commune ayant montré que la part de bâtiments chauffés au bois ou au charbon est négligeable, il a été admis que:

$$\begin{aligned} &\text{Les bâtiments qui ne sont pas chauffés au gaz} \\ &\text{sont chauffés à l'huile extra-légère} \end{aligned} \quad (\text{C-4})$$

Ce principe a été maintenu pour toute l'agglomération de Bienne.

Ces données se rapportant aux bâtiments individuels ont été agrégées à l'hectare pour former une banque de données indiquant pour chaque hectare la surface chauffée totale, celle chauffée à l'huile et celle chauffée au gaz ainsi que la consommation annuelle effective de gaz.

Les travaux de TROXLER et HELBLING (1981), de WICK (1983) et de WEBER (1984) montrent qu'il est possible de calculer la consommation d'énergie de chauffage à partir de la surface chauffée (Table 6) en faisant appel à des indices énergétiques définis comme suit :

$$\text{indice énergétique} = \frac{\text{consommation annuelle}}{\text{surface chauffée}} \quad (\text{TJ/m}^2) \quad (\text{C-5})$$

Une étude des indices énergétiques de bâtiments de Nidau chauffés au gaz a confirmé la validité des chiffres proposés par les auteurs cités ci-dessus.

Comme plusieurs collaborateurs du groupe de travail Bienne-Seeland proposaient d'établir la consommation à partir de la puissance installée, la corrélation entre ces deux variables a été examinée pour ces mêmes bâtiments: le coefficient de corrélation de moins de 0,30 confirme que de nombreuses installations sont surdimensionnées comme l'ont d'ailleurs constaté d'autres auteurs (AMT FUER TECHNISCHE ANLAGEN UND LUFTHYGIENE 1983: 31; WEBER R. 1984: 16 ss).

La consommation d'huile extra-légère par hectare a été calculée en partant d'un indice énergétique de 730 TJ/m² (table 6). La consommation de gaz est connue. Les émissions sont calculées en fonction de la consommation à partir des facteurs d'émission définis au chapitre 3.2.2 (table 3):

$$\begin{array}{l} \text{émission} \\ \text{par hectare} \end{array} = \begin{array}{l} \text{consommation} \\ \text{par hectare} \end{array} * \text{facteur d'émission} \quad (\text{C-6})$$

En résumé, les émissions dues au chauffage domestique dans la commune de Nidau sont calculées selon la relation générale (de C-2, C-5 et C-6):

$$\begin{array}{l} \text{émission} \\ \text{par hectare} \end{array} = \sum_{i=1}^n \left[\left(\begin{array}{l} \text{surface du} \\ \text{bâtiment } i \end{array} * \begin{array}{l} \text{étages} \\ \text{chauffés du} \\ \text{bâtiment } i \end{array} \right) * \begin{array}{l} \text{indice} \\ \text{énergétique} \end{array} \right] * \begin{array}{l} \text{facteur} \\ \text{d'émission} \\ \text{huile EL} \end{array} \quad (\text{C-7})$$

pour les chauffages à huile et selon la formule très simple, valable pour toute la région biennoise:

$$\begin{array}{l} \text{émission} \\ \text{par hectare} \end{array} = \begin{array}{l} \text{consommation effective} \\ \text{de gaz par hectare} \end{array} * \begin{array}{l} \text{facteur d'émission} \\ \text{gaz naturel} \end{array} \quad (\text{C-8})$$

pour les bâtiments chauffés au gaz naturel. La démarche décrite ci-dessus est illustrée par la figure 5, partie gauche. Les méthodes utilisées pour le calcul des émissions de la commune de Bienne et des autres communes de la région en sont dérivées.

Table 6: Consommation spécifique d'énergie de chauffage selon quelques études récentes

type de bâtiment	Consommation spécifique d'énergie (MJ/m ² an)					
	TROXLER & HELBLING 1981: 12		WICK 1983 :		WEBER 1984 : 16-20	
	chauffage ¹	chaleur ²	chauffage	chaleur	chaleur	fourchette ³
Maison individuelle	753	878	670	790	880	637-956
Immeubles locatifs	740	880	680	780	790	--
Ecoles	--	800	--	680	731	600-900
Bâtiment administratif	--	800	--	800		
Bâtiment adm. climatisé	--	1100	--	850		
Surfaces de vente ⁴			--	650		

Notes

1 la chaudière sert uniquement au chauffage. Boiler pour l'eau chaude

2 la chaudière combinée sert au chauffage et à la préparation d'eau chaude. Selon WICK (1983: 15), la part de chaudières combinées est de 60% dans les maisons individuelles et de 30% dans les immeubles locatifs

3 la majeure partie des bâtiments se situent entre ces valeurs

4 sans les grandes surfaces

3.3.3 Application de la méthode à la commune de Bienne

La perspective de calculer les émissions dues au chauffage dans la commune de Bienne à partir des données de **volume bâti par hectare** établies par B. RICKLI (1984: 47 - 54) était très attrayante, en vertu de la qualité intrinsèque de ces données et de l'étendue considérable de la commune: un relevé in situ tel qu'il avait été effectué à Nidau eût été une tâche de titan. Toutefois, le volume bâti indiqué par RICKLI contient certains bâtiments ou certaines parties de bâtiment qu'il convient d'éliminer pour obtenir des données comparables à celles de Nidau.

Comme RICKLI considère également le volume des bâtiments industriels, relevés différemment pour le cadastre des émissions (cf. 3.2.3 et 3.5), il était indispensable d'estimer le volume de ces édifices et de le soustraire:

$$\begin{array}{l} \text{volume bâti} \\ \text{non industriel} \\ \text{par hectare} \end{array} = \begin{array}{l} \text{volume bâti total} \\ \text{par hectare} \end{array} - \begin{array}{l} \text{volume bâti industriel} \\ \text{par hectare} \end{array} \quad (\text{C-9})$$

Par ailleurs, le volume défini par RICKLI contient un certain volume non chauffé (combles, greniers, garages, etc.) qui a été estimé empiriquement au sixième du volume bâti non-industriel. Les cinq sixièmes restant forment le volume bâti chauffé (non industriel) que l'on peut convertir en surface chauffée en vertu de la relation C-3:

$$\begin{array}{l} \text{surface chauffée} \\ \text{par hectare} \end{array} = \frac{5 * \text{volume bâti non} \\ \text{industriel par hectare}}{6 * \text{hauteur d'étage}} \quad (\text{C-10})$$

La consommation globale par hectare est ensuite calculée sur la base de l'indice énergétique susmentionné. La consommation de gaz, préalablement agrégée à l'hectare, est connue. La différence entre ces deux consommations forme la consommation d'huile extra-légère (C-4). Le passage de la consommation à l'émission se fait comme pour la commune de Nidau.

En définitive, c'est les émissions dues au chauffage domestique utilisant l'huile extra-légère qui posaient des problèmes dans la commune de Bienne (figure 5, partie droite), comme le montre la formule générale assez complexe utilisée pour leur calcul (de C-3, C-4, C-5, C-6, C-9 et C-10):

$$\begin{array}{l} \text{émission due} \\ \text{au chauffage} \\ \text{à huile par} \\ \text{hectare} \end{array} = \left(\frac{\begin{array}{l} \text{volume} \\ \text{bâti total} \\ \text{par hectare} \end{array} - \frac{\begin{array}{l} \text{volume bâti} \\ \text{industriel} \\ \text{par hectare} \end{array}}{6 * \text{hauteur d'étage}} * \text{indice} \right) \begin{array}{l} \text{consommation} \\ \text{de gaz par} \\ \text{hectare} \end{array} \begin{array}{l} \text{facteur} \\ \text{d'émission} \\ \text{huile EL} \end{array} \quad (\text{C-11})$$

3.3.4 Généralisation de la méthode pour les autres communes de l'agglomération

Pour les autres communes de l'agglomération, à savoir Sutz-Lattrigen, Bellmund, Tüscherz, Evilard, Port, Brügg, Orpund, Safnern, Pieterlen, Aegerten, Studen, Schwadernau et Scheuren, des données semblables à celles utilisées à Nidau et à Bienne n'étaient pas disponibles. Il fallait donc se tourner vers d'autres données et tenter, du même coup, d'établir une méthode plus générale éventuellement applicable à d'autres régions (cf. 6.1.1).

Les seules données uniformément relevées sur une base hectométrique pour toutes les communes concernées, y compris Bienne et Nidau, et susceptibles de servir à l'estimation des émissions sont celles du recensement de la population de 1980 qui concernent les bâtiments, notamment le nombre de bâtiments total, le nombre de maisons familiales, d'immeubles locatifs et d'autres bâtiments ainsi que le nombre de logements. Pour les communes de Bienne et Nidau, il paraissait possible de mettre ces paramètres hectométriques en relation avec les variables "surface chauffée" et "consommation" établies précédemment. Après quelques essais, il s'avéra préférable de se concentrer sur les variables "nombre de logements" et "surface chauffée". Ce choix est justifiable: par rapport à la consommation, la surface chauffée laisse la possibilité de modifier l'indice énergétique en tout temps sans devoir recalculer pour autant la banque de données initiale. Parmi les paramètres du recensement de la population décrivant l'espace bâti, le nombre de logement est celui qui correspond le mieux à une dimension, la superficie d'un logement étant située dans une fourchette de valeurs assez étroite.

Néanmoins, l'utilisation du nombre de logements (ou d'une autre variable du recensement de population) pose de manière aiguë le problème de la fonction des bâtiments, problème que les méthodes élaborées pour les communes de Bienne et Nidau visent justement à esquiver. En effet, chaque hectare recèle de nombreuses surfaces chauffées autres que des logements: commerces, bureaux, ateliers, etc. Chercher une relation:

$$\begin{array}{l} \text{surface chauffée} \\ \text{par hectare} \end{array} = f \left(\begin{array}{l} \text{nombre de logements} \\ \text{par hectare} \end{array} \right) \quad (\text{C-12})$$

ne signifie donc en tout cas pas rechercher la superficie moyenne des logements mais bien plutôt admettre qu'il existe certaines proportions assez constantes entre la surface d'habitation et les autres surfaces chauffées d'un hectare (ou d'une autre unité de surface). Il est permis d'imaginer que cette proportion variera d'un quartier à l'autre, par exemple qu'elle sera plus élevée dans un quartier résidentiel mais plus faible au centre ville ou dans une zone commer-

ciale et industrielle, d'où la nécessité de caractériser chaque hectare. Les plans de zones se prêtent bien à cette caractérisation dans la mesure où ils reflètent l'état actuel.

Dès lors que chaque hectare est affecté à une zone d'aménagement, il devient possible d'établir, séparément pour Nidau et pour Bienne, une corrélation entre le nombre de logements (abscisse) et la surface chauffée (ordonnée) par hectare pour chaque zone. Des corrélations linéaires ont d'abord été examinées: Le coefficient de corrélation paraissait prometteur mais les droites ainsi définies, loin de passer par l'origine, fournissaient des surfaces chauffées excessivement élevées lorsque le nombre de logements tendait vers zéro. Partant du fait qu'à zéro logement correspond une surface nulle, le choix s'est arrêté sur des équations de type potentiel ($y = ax^b$). Les courbes de corrélation obtenues peuvent être résumées en deux courbes (figure 6 et table 7):

$$y = 150,8750 \quad x^{0,9451} \quad r^2: 0.970 \quad (C-13)$$

$$y = 242,1142 \quad x^{0.9667} \quad r^2: 0.945 \quad (C-14)$$

où x = nombre de logements par hectare

y = surface chauffée par hectare

r^2 = coefficient de corrélation

La première courbe (C-13) est utilisable pour des zones d'habitation avec très peu d'autres fonctions (table 7). Dans les zones de villégiature, où les maisons ne sont certes pas chauffées aussi fréquemment que des résidences principales, les valeurs obtenues ont été arbitrairement réduites de 50%. Dans les zones résidentielles à quatre étages et les centres locaux, il convient de majorer quelque peu les valeurs (+ 10%). Par centres locaux, il faut entendre des centres de communes suburbaines (Brügg, Pieterlen) et des petites bourgades telles que la vieille ville de Nidau.

La seconde courbe (C-14), qui fournit des surfaces chauffées plus importantes pour des nombres de logements identiques, s'applique expressément à des zones d'utilisation mixte où l'on trouve, en plus des habitations, des entreprises d'arts et métiers et des entreprises industrielles de faible taille. Ce genre de zones, avec des habitations à deux ou trois étages, est très fréquent dans l'agglomération biennoise. Il convient de majorer les valeurs de surface chauffée obtenues de 10% dans les zones mixtes avec immeubles à trois étages et de 25% pour les hectares contenant des édifices publics (essentiellement des écoles).

Figure 6: Corrélations entre le nombre de logements et la surface chauffée par hectare pour différentes zones d'aménagement

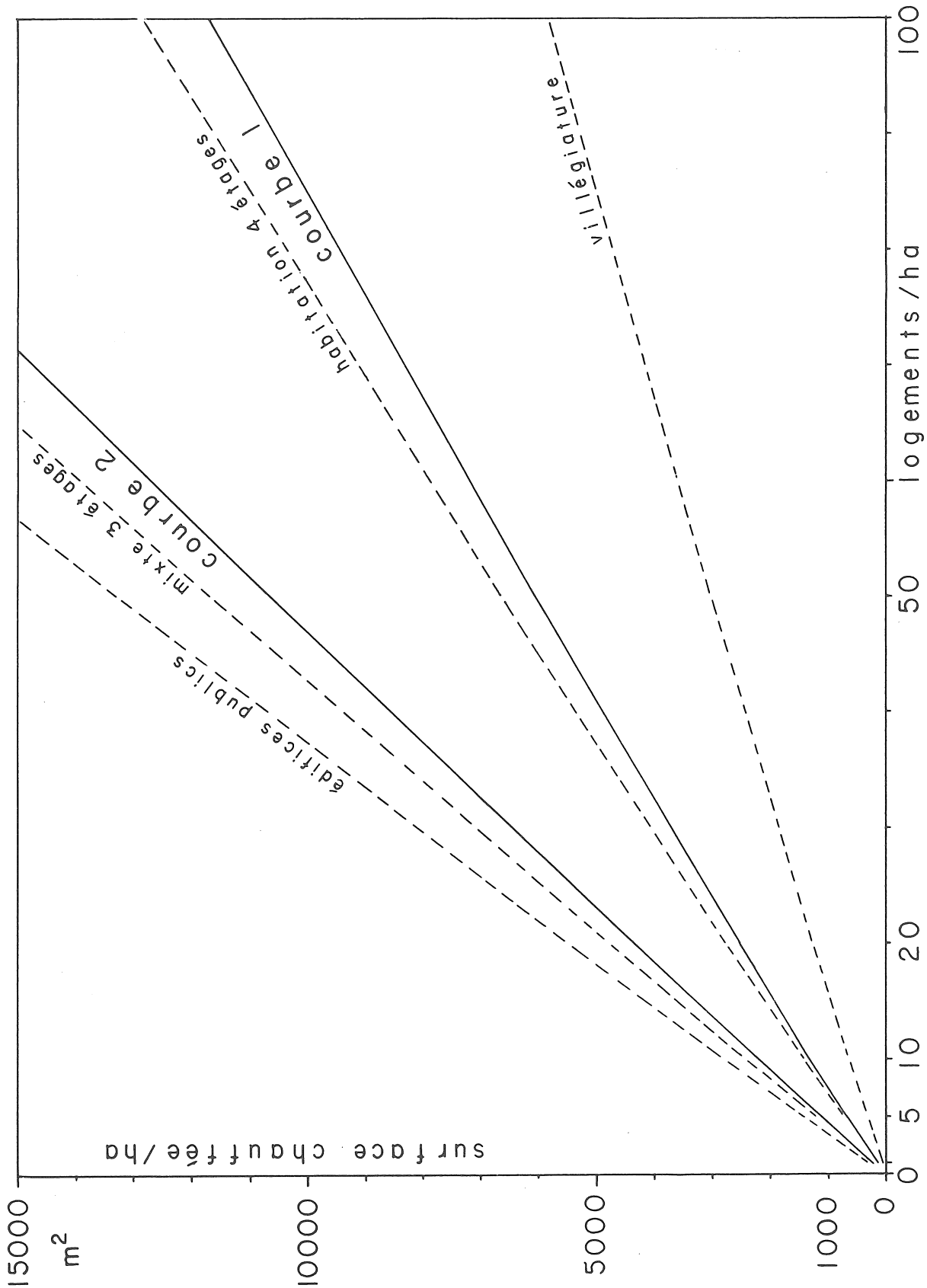


Table 7: Application des corrélations entre le nombre de logements et la surface chauffée par hectare en fonction des zones d'aménagement

<p>Equations: 1) (basse) $Y = 150.8750 * X^{0.9451}$ $r^2 = 0.970$ $p = 55$</p> <p>2) (haute) $Y = 242.1142 * X^{0.9667}$ $r^2 = 0.945$ $p = 47$</p> <p>X = nombre de logements Y = surface chauffée par hectare</p>		
Description de la zone d'aménagement (désignation à Nidau et à Bienne)	Equation utilisée	Correction à introduire
Zone d'habitation à 4 étages, centres locaux (K, G4)	1	+ 10 %
Zone d'habitation à 3 étages (W3, G3)	1	-
Zone d'habitation à 2 étages (W2, G2)	1	-
Zone d'habitation à 1 étage	1	-
Zone de vacance et villégiature	1	- 50 %
Zone mixte à 3 étages (WG3)	2	+ 10 %
Zone mixte à 2 étages	2	-
Habitations dans une zone industrielle ¹	2	-
Edifices publics (écoles, etc.) (FF)	2	+ 25 %
<p>Réalisé d'après le recensement fédéral de la population 1980, la consommation effective 1983 des bâtiments chauffés au gaz naturel, les plans cadastraux et les plans de zones de Nidau et de Bienne ainsi que d'après des relevés sur le terrain.</p> <p>¹Les bâtiments industriels ayant été relevé différemment (enquête)</p>		

Ces deux courbes ont été utilisées pour le calcul de la surface chauffée des communes mentionnées ci-dessus. Préalablement, les bâtiments saisis dans le cadre du relevé des émissions industrielles ont été éliminés. Le passage aux valeurs de consommation d'énergie de chauffage (C-5 et C-4) et aux émissions (C-6) se fait comme dans les deux autres approches. La figure 5, partie centrale, illustre la démarche.

3.3.5 Exceptions

L'homogénéité des résultats d'une méthode évaluative telle que celle que nous venons de décrire (3.3.2 à 3.3.4) dépend essentiellement de son application systématique à tous les cas et à toute la région. C'est pourquoi la prise en considération d'exceptions ne se justifie que lorsque les deux conditions suivantes sont simultanément remplies:

- 1° La situation laisse supposer que les valeurs d'émission obtenues selon la méthode générale d'évaluation diffèrent sensiblement de l'émission effective.
- 2° Il existe des sources sûres ou des valeurs de mesure permettant une estimation nettement plus précise et plus fiable de l'émission.

Une telle situation d'exception se présente en principe lorsque de grands complexes de bâtiments sont chauffés à partir d'un seul point (centrales de chauffe et, par analogie, chauffage à distance) ou lorsque l'affectation des bâtiments est très particulière. Dans le premier cas, le bâtiment recouvre plusieurs hectares mais il n'y a émission que dans un seul hectare. Dans le second cas, la consommation d'énergie des bâtiments ne peut pas être estimée avec suffisamment de précision par la méthode générale proposée. Pour l'agglomération de Bienne seules quatre exceptions affectant 15 hectares au total ont été retenues:

- Les bâtiments de l'ancienne fabrique d'automobiles de General Motors, au sud-ouest de la gare CFF. Ces bâtiments, qui ont été réaffectés depuis, sont chauffés depuis une seule centrale de chauffe située à peu près au centre du complexe.
- L'Hôpital régional (dans le flanc du Jura, au nord de la ville) est également chauffé depuis une centrale, située au nord-est des bâtiments.

- Le réseau de chauffage à distance de la station régionale d'incinération des déchets (MUERA), au sud de la ville, qui chauffe un certain nombre de bâtiments dans la commune de Port et dans la zone industrielle du Champ de Brügg.
- Les bâtiments des Chemins de Fer Fédéraux, notamment les gares voyageurs de Bienne et Mâche, la gare marchandise, l'atelier principal et le dépôt des locomotives. Ici, c'est l'affectation des bâtiments qui réclame une correction.

Dans ces quatre cas, les propriétaires des installations ont pu fournir des valeurs exactes de consommation qui ont permis des corrections importantes des valeurs d'émission dans un sens ou dans l'autre. L'analyse des résultats permet de dire si d'autres exceptions auraient pu être prises en considération (cf. 6.1.1).

3.3.6 Le relevé du chauffage domestique en bref

Le relevé du chauffage domestique repose sur une estimation de la surface chauffée par hectare et sur l'utilisation d'indices énergétiques. En fonction des données locales disponibles, trois variantes méthodiques sont développées pour Nidau (région test), Bienne et les autres communes. Elles conduisent néanmoins à des résultats comparables, si bien que l'homogénéité du relevé est garantie. La méthode appliquée aux communes externes fait appel au recensement de population 1980 et aux plans de zones. Elle est a priori transposable à d'autres régions de Suisse.

3.4 Relevé du trafic

3.4.1 Principe et données disponibles

Comme l'a montré le chapitre 3.2.2, l'émission due au trafic en un point d'une route (tronçon unitaire de 1 mètre) est fonction de la densité et de la vitesse moyenne du trafic sur cette route. L'émission produite sur tout le tronçon de route considéré dépend logiquement de la longueur de celui-ci. Pour chaque tronçon de route, il faut donc connaître trois paramètres:

- la longueur du tronçon de route
- la densité du trafic
- la vitesse moyenne du trafic

Dans une étude régionale de l'émission, où la couverture spatiale est essentielle, la difficulté principale consiste à obtenir ces trois données pour un nombre adéquat de routes. Vu l'importance sans cesse croissante du trafic routier dans nos agglomérations dès l'après-guerre, les ingénieurs du trafic et les aménagistes se sont trouvés confrontés très tôt déjà à ce genre de difficultés. Les nombreux recensements de trafic, qui ont, malgré leur remarquable précision, intrinsèquement un caractère très ponctuel, tant dans le temps que dans l'espace, ne permettent que difficilement d'obtenir le degré de couverture spatiale et de généralisation recherché. C'est pourquoi les ingénieurs se sont rapidement tournés vers la **modélisation du trafic**. Il existe des modèles de trafic aux échelles les plus diverses. Le plus connu en Suisse est probablement le modèle de transport de la Conception globale suisse des transports (OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 1984: 14-19) qui ne tient malheureusement pas compte du trafic dans les agglomérations. Parmi les modèles de trafic qui existent aujourd'hui pour de nombreuses villes suisses (p.ex. Berne, Lausanne, Neuchâtel, St-Gall et Thoune), celui de Bienne est l'un des plus détaillés. Il a été établi dans le cadre des travaux visant à la construction d'une autoroute de ceinture dans l'agglomération de Bienne (voir à cet effet VARIANTENVERGLEICH N5/T6 BIEL 1981 et STAEDTISCHE BAUDIREKTION BIEL 1983). Il était donc opportun de chercher à utiliser dans la plus large mesure possible ce modèle de trafic pour le relevé des émissions. Par rapport à ce modèle, certains travaux d'adaptation et quelques compléments s'imposaient. C'est pourquoi il a été fait appel aux données suivantes:

- Modèle de trafic N5/T6. Ce modèle comprend une simulation de l'état actuel (réseau de base) et des scénarios pour les différentes variantes d'autoroute envisagées. C'est le réseau de base 1985, développé et actualisé à partir du modèle de 1979 (cf. 3.4.2), qui a été utilisé pour le relevé des émissions (aimablement fourni par l'Office d'urbanisme de la Ville de Bienne).
- Plans cadastraux à l'échelle 1:2000 (sources: cf. 3.3.1)
- Recensements du trafic léger (mis à notre disposition par l'Office d'urbanisme de la Ville de Bienne)
- Recensements du trafic lourd (mis à notre disposition par l'Office d'urbanisme de la Ville de Bienne).

Il convient d'ajouter que la connaissance empirique des lieux dont je disposais, pour avoir habité et beaucoup circulé dans l'agglomération de Bienne, a été des plus utiles lors de l'élaboration de ce volet du travail, notamment pour la comparaison entre le modèle de trafic et le réseau routier réel, pour l'évalua-

tion des vitesses moyennes sur les tronçons et pour l'appréciation de la part de trafic lourd. La figure 7 illustre la méthode utilisée dont les différents aspects sont précisés dans les chapitres 3.4.2 à 3.4.5.

Le modèle de trafic N5/T6 ne fait pas réellement partie du présent travail, car il lui fournit uniquement les données de base les plus importantes. Toutefois, une brève description du principe des modèles de transport et quelques précisions quant au modèle de trafic N5/T6 faciliteront la compréhension du relevé des émissions dues au trafic routier.

3.4.2 Les modèles de transport

Bien qu'ils soient d'échelles très différentes, le modèle de trafic N5/T6, dans la version originale de 1979 (qui avait été présenté au GIUB en 1985 par son auteur, M. Daniel Buchhofer, BARBE AG), et le modèle de transport de la conception globale suisse des transports sont des modèles de transports classiques qui reposent essentiellement sur des données socio-économiques telles que les domiciles et les postes de travail.

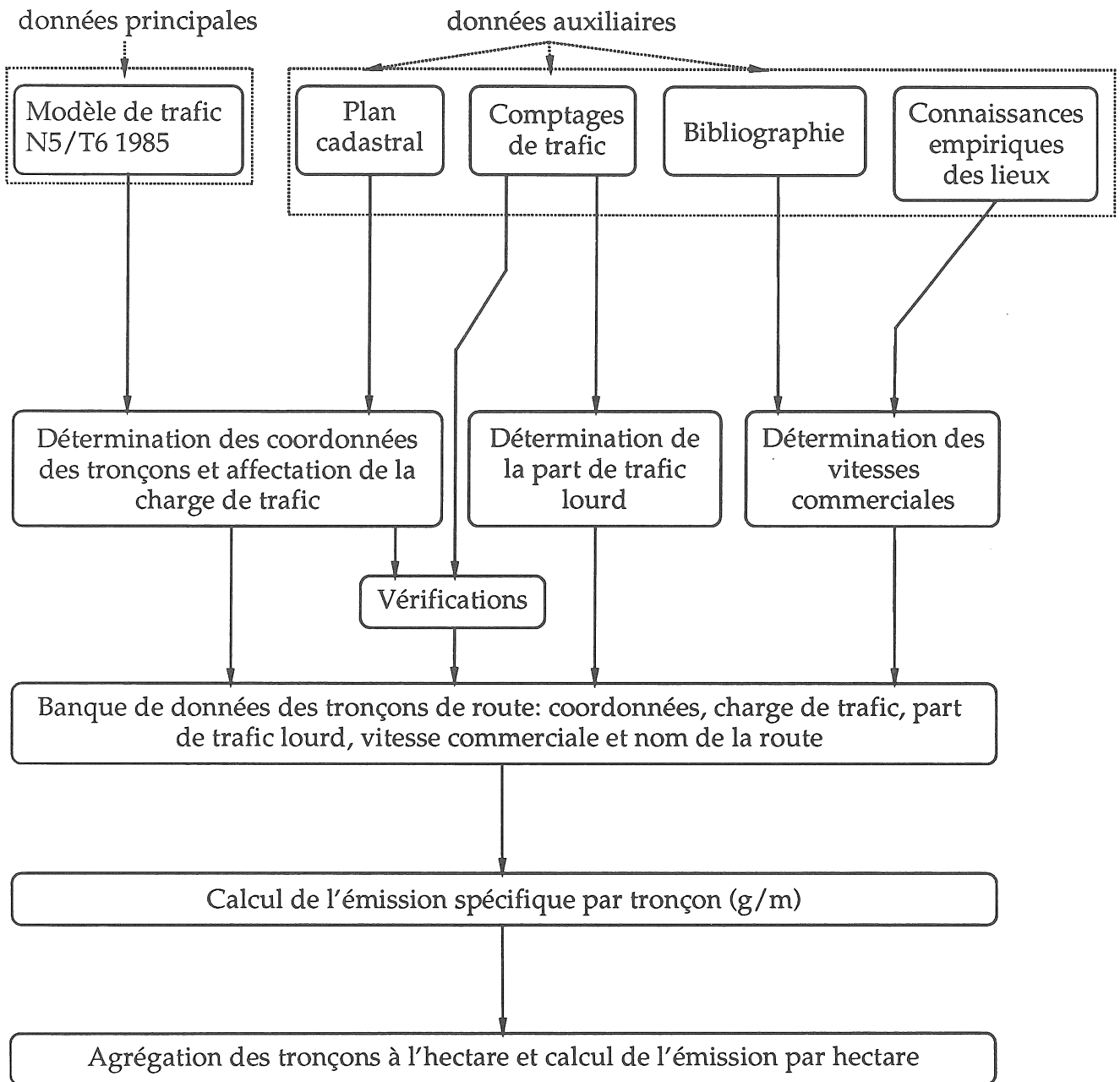
Nous nous permettons de reproduire ci-dessous intégralement la brève description du modèle de transport CGST proposée par l'Office fédéral de la protection de l'environnement (1984: 14 - 15), car elle cerne l'essentiel de la démarche du modèle de trafic N5/T6. La figure 8 visualise cette description en tenant compte des particularités du modèle biennois qui vise à représenter le trafic privé uniquement.

"Les modèles de transport ont pour but de simuler aussi fidèlement que possible le trafic effectif. Celui utilisé dans la CGST est du type classique à quatre phases, comprenant les sous-modèles relatifs respectivement à la **génération**, à la **distribution**, à la **répartition modale** et à l'**affectation du trafic**.

Le **modèle relatif à la génération du trafic** donne la relation entre les caractéristiques d'une région déterminée (zone) et les déplacements qui y sont engendrés. Sous le terme génération de trafic, on entend la somme de tous les déplacements qui ont leur origine dans une zone de la CGST (déplacements de personnes). Les lieux de domicile et les places de travail en particulier, représentent les facteurs (paramètres) principaux occasionnant ces trajets.

Le **modèle de distribution du trafic** distribue les déplacements entre les zones d'origine (début du trajet) et de destination (but). Les critères de distribution sont les coûts, la distance ou le temps du déplacement. Il découle ainsi du

Figure 7 Trafic routier: diagramme méthodique



modèle de distribution un tableau matriciel des itinéraires souhaités, défini par le nombre de déplacements de personnes à l'intérieur de la zone (desserte de surface) et entre les zones (lignes de désir).

Le **modèle de répartition modale** répartit les divers itinéraires souhaités entre les transports publics ou privés, proportionnellement à la durée cumulée pour le trajet considéré. Le résultat se traduit par un nombre total de déplacements de personnes entre les diverses zones, suivant le mode de transport (rail ou route).

Le **modèle d'affectation du trafic** affecte les courants de trafic (lignes de désir) aux transports publics ou privés. Dans le cas du trafic privé, on calcule d'abord les distances et durées des trajets pour chacune des routes pouvant entrer en considération. Une fonction de probabilité attribue ensuite ces courants de trafic aux routes les mieux appropriées. De ce fait, il est tenu compte non seulement des temps de déplacement, mais, indirectement à partir de la distance, aussi des coûts (consommation de carburant), ce qui conduit à une simulation nettement plus précise des charges des réseaux.

De l'affectation des courants de trafic aux transports publics et privés découle directement la charge respective des réseaux ferroviaires et routiers. De la sorte, le nombre journalier de déplacements de personnes est connu pour chaque tronçon des deux réseaux."

Ces modèles nécessitent un travail de calibrage très important, notamment au niveau de la distribution du trafic et à celui de l'affectation du trafic. Le modèle de distribution est calibré à partir de nombreuses enquêtes qui visent avant tout à dégager les comportements et les habitudes. Lors de l'affectation du trafic, la matrice des transports privés issue de la répartition modale est encore une matrice des déplacements de personnes qui doit être transformée en matrice des déplacements de véhicules par affectation des personnes aux véhicules. Le taux d'occupation des véhicules permet le calibrage. C'est la matrice des déplacements de véhicules qui est affectée au réseau pour obtenir la charge du réseau (ou plan de charge). Le premier plan de charge correspond généralement assez mal à la charge réelle du réseau: on calibre alors le modèle par itération entre le plan de charge, l'affectation et la matrice des déplacements de véhicules jusqu'à obtention d'un plan de charge plausible (figure 8, partie inférieure).

Le modèle de trafic N5/T6 original repose sur des valeurs de 1979 et a été calibré pour représenter le trafic moyen de 1981. La comparaison entre le plan de charge ainsi obtenu et des recensements de trafic plus récents (1984-1985) met

Figure 8 Principe d'un modèle de trafic

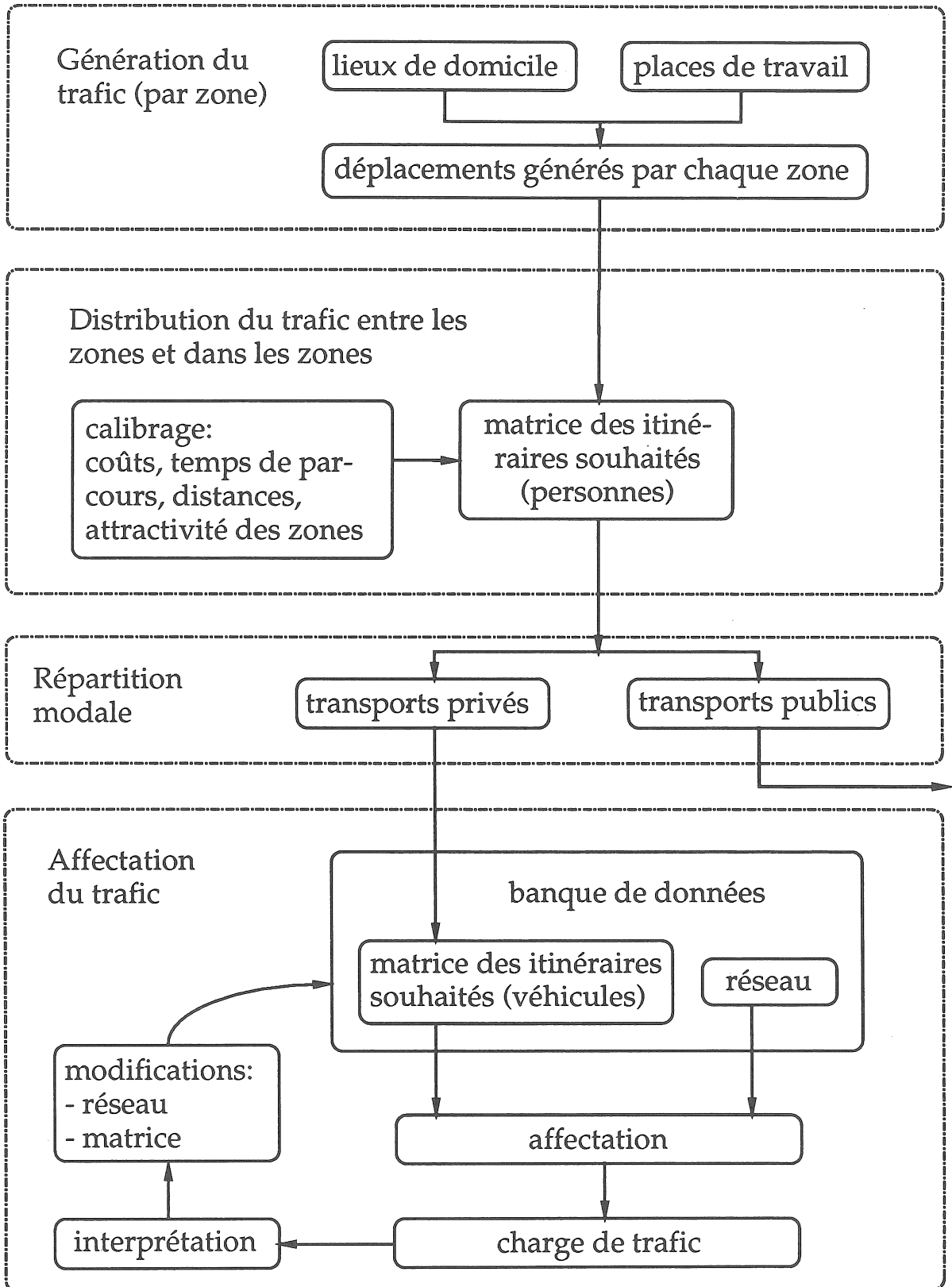


Table 8: Précision du modèle de trafic N5/T6 actualisé pour 1985

Corridor	Route	Comptage 1985 maximum	affectation			erreur %		
			4ème	8ème	12ème	4e aff.	8e aff.	12e aff.
Neuchâtel	Rte de Neuchâtel	12'200	12'200	12'110	12'150	± 0	± 0	± 0
Ipsach	Nidau Hauptstrasse (pont)	16'700	14'500	15'270	17'270	- 13	- 8.6	+ 3
Port	Rte de Port (Ecluse)	11'050	11'650	11'280	11'130	+ 5.5	+ 2.1	± 0
Berne	Autoroute	18'600	21'350	16'020	17'470	± 0	- 16.3	- 5
	anc. Rte de Berne Rte de Brügg	10'350	7'640	8'210	10'060			
Orpond	Rte d'Orpond	9'400	9'400	10'200	9'870	± 0	+ 8.5	+ 5
Soleure	Rte de Soleure	15'300	15'150	15'150	15'270	- 10.5	- 5	- 4
	Rte de la Montagne de Boujean Chemin Bartholomé	1'650	---	1'000	1'000			
Jura	Rte de Reuchenette T6	14'250 2'400	9'550 1'550	13'480 1'650	14'390 2'520	- 34	- 9	+ 1.5
TOTAL	Bienne + Nidau	111'900	102'900	103'370	111'130	- 8	- 7.6	- 0.7

Source: Office d'urbanisme de la Ville de Bienne
La 8e affectation a servi au calcul des émissions.

en évidence une évolution rapide et importante du trafic, surtout sur certains axes. Par ailleurs, l'Office d'urbanisme de la Ville de Bienne souhaitait disposer d'une simulation de trafic sur un réseau à plus fine résolution afin de pouvoir évaluer des mesures d'aménagement complémentaires à la construction de l'autoroute de ceinture N5/T6. Au printemps 1985, il chargea donc M. Buchhofer d'actualiser le modèle et d'introduire de nouveaux axes dans le réseau. Ces travaux d'actualisation ont porté uniquement sur la dernière phase de la modélisation, soit le modèle d'affectation du trafic. Les résultats du modèle de trafic N5/T6, version 1985, sont disponibles depuis l'automne 1985.

Pour le relevé des émissions, les données de densité du trafic obtenues après la huitième affectation du modèle actualisé ont été utilisées. La table 8 donne une idée de la précision de cette version. Les données de vitesse du modèle, valeurs assez théoriques la servant avant tout à la calibration du plan de charge, n'ont pas été retenues (cf. 3.4.3).

3.4.3 Vitesses commerciales

Comme nous l'avons expliqué lors de la discussion des facteurs d'émission - (3.2.3), les vitesses à introduire dans le calcul des émissions ne sont pas des vitesses instantanées, comme celles que l'on peut lire sur le tachymètre d'une automobile, mais des vitesses commerciales qui expriment le temps nécessaire à parcourir un tronçon de route, y compris les accélérations, les freinages et les arrêts. Une telle vitesse dépend naturellement aussi de la charge de trafic sur la route considérée et du profil de cette dernière (type, largeur, pente, courbes, prescriptions légales, etc.). Ainsi, chaque vitesse correspond à un cycle de conduite, c'est-à-dire à un comportement moyen des véhicules sur le tronçon considéré. Cette notion (en allemand Fahrmodus ou Fahrzyklus), introduite par MAY et PLASSMANN (1973), est très fréquemment utilisée (p. ex. PELLI T. 1976:14; 1977 (1): 18; 1977 (2): 3; BASLER & HOFFMANN 1979: 63, 77; DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 68; BRUEGGER et DESCLOUX 1987: 16). Au vu des réflexions ci-dessus, nous préférons toutefois le terme de vitesse commerciale ou de vitesse moyenne effective (OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 1984: 20) qui nous paraît plus explicite.

Comment relever les vitesses commerciales dans l'agglomération de Bienne ? D'une part, les données de vitesse du modèle de trafic N5/T6 ne sont pas utilisables (cf. 3.4.2). D'autre part, comme le relève l'Office fédéral de la protection de l'environnement (1984: 21), "les renseignements bibliographiques concernant les vitesses moyennes en fonction des circonstances locales ... et des conditions de

trafic sont insuffisants". Pour l'estimation des vitesses commerciales, il nous a donc fallu utiliser conjointement une description des cycles de conduite et notre connaissance empirique du trafic à Bienne.

La description des cycles de conduite adoptée est celle de BASLER & HOFFMANN (1979: 77) que nous avons traduite en français à la table 9. Les vitesses commerciales indiquées, apparemment très basses, ne font que montrer qu'on se laisse aisément leurrer par la vitesse instantanée ou par la vitesse maximale autorisée.

Notre connaissance empirique du trafic à Bienne repose sur 20 ans d'expérience dont 12 comme conducteur (1965 - 1985). Les nombreuses courses nécessitées par l'enquête dans les industries (cf. 3.5) et les parcours réalisés à toute heure lors des campagnes de mesures climatologiques (dans le cadre du projet) ont permis de parfaire et d'actualiser ce savoir.

Les cycles de conduite nous ont permis de fixer tout d'abord les ordres de grandeur des vitesses commerciales sur chaque route de l'agglomération. Il a naturellement fallu tenir compte des limitations générales de vitesse, qui excluent a priori certains cycles, ainsi que de la réduction de la vitesse maximale autorisée à l'intérieur des localités de 60 km/h à 50 km/h. Nos connaissances empiriques des lieux nous ont permis d'améliorer l'estimation en prenant en considération des circonstances locales telles que les feux de circulation, les carrefours complexes, les rues à sens unique, les dessertes d'usines, les embouteillages, etc. Enfin, les premières versions du calcul des émissions ont montré la nécessité de certaines corrections et adaptations (comparer par exemple notre carte des hydrocarbures publiée dans FILLIGER (1986: 44) avec la figure 19).

3.4.4 Part du trafic lourd

Comme nous l'avons mentionné dans la définition des groupes de sources (3.2.8), seules deux catégories de véhicules sont prises en considération dans le cadre du relevé des émissions dues au trafic: les voitures de tourisme (moteurs à essence) et les véhicules lourds (moteurs diesel). Le modèle de trafic N5/T6 fournit la charge de trafic totale sur les tronçons de route (3.4.2). Il faut encore la répartir entre les deux catégories ou, plus précisément, déterminer la part du trafic lourd, exprimée en pourcent du trafic total.

Table 9: Cycles de conduite

<u>Cycle de conduite</u>	<u>Vitesse commerciale km/h</u>	<u>Description du trafic correspondant</u>
0	103	trafic fluide sur autoroute
1	82	trafic fluide en dehors des localités
2	60	trafic sur axe de sortie
3	43	trafic de transit fluide
4	26	trafic urbain fluide
9	20	trafic urbain selon le cycle ECE
5	13	trafic urbain ralenti
6	6	engorgement, colonne
7	2	embouteillage, trafic paralysé

Source : BASLER & HOFFMANN 1979: 77

Quelques réflexions générales sur le trafic lourd et la manière de le déterminer s'imposent ici.

De manière générale, quelque 70 - 80 % du trafic de marchandises en Suisse se déroule à l'échelle régionale et locale, presque exclusivement par route (VARIANTENVERGLEICH N5/T6 1982: 2), comme l'illustre éloquemment la comparaison suivante: pour les marchandises, la distance de transport moyenne est de 23 km par la route et de 146 km par le rail (EIDGENOESSISCHES DEPARTEMENT DES INNERN 1981: 8-11, 17, 80).

Cette nature essentiellement régionale du trafic lourd marque profondément les méthodes destinées à déterminer son ampleur: on aura de préférence recours à des indications locales, en particulier à des comptages de trafic sur des tronçons caractéristiques. La part du trafic lourd étant soumise à de fortes fluctuations au cours de la journée ou au cours de la semaine (cf. 3.6), il convient, lors de l'interprétation de tels comptages, de tenir compte de paramètres tels que l'heure du comptage, la période de temps sur laquelle il porte et le jour de la semaine où il a été effectué. Lorsque le comptage a lieu durant une partie seulement de la journée, il porte soit sur une heure de pointe, soit sur quelques moments caractéristiques de la journée ou encore sur une période de 14 heures (de 7 h à 21 h). Les jours de référence sont usuellement le mardi et le jeudi ou encore une moyenne de mardi, mercredi et jeudi. Les études d'émissions allemandes (p. ex: DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 75) indiquent généralement une charge de trafic annuelle telle que celle que nous recherchons.

La littérature permet de situer l'ordre de grandeur de la part de trafic lourd. Les valeurs rassemblées par PELLI (1977 (1): 37 - 40) pour Bâle, Berthoud, Locarno, Thoune et Zurich montrent des différences importantes entre les heures de la journée et entre les différents tronçons de route d'une même localité. Cette récapitulation, certes un peu ancienne, dégage notamment une part moyenne de trafic lourd de 8% à Bâle et de 9% à Locarno, ces valeurs se rapportant clairement à des axes importants. Les valeurs de Berthoud et de Thoune sont nettement plus basses. Les études allemandes indiquent une part de trafic lourd de 7% pour Cologne (dans PELLI T., 1977 (1): 37), de 7% pour Rheinschiene Mitte (MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1982: 51) et de 9,2% (charge de trafic annuelle) pour Wetzlar (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 75). Il semble donc que la valeur forfaitaire de 10% admise par BASLER & HOFFMANN (1979: 7) soit indiscutablement trop élevée. La littérature fournit également des valeurs de 1979 et 1980 pour Bienne (VARIANTENVERGLEICH N5/T6 1982: 3), reproduites à la

Table 10: Part du trafic lourd: comptages 1979/80

A. <u>Comptages du 20 mars 1979 sur les 4 axes de transit (deux sens de circulation)</u>				
	<u>heure de pointe</u>	<u>trafic total véhicules</u>	<u>trafic lourd véhicules</u>	<u>trafic lourd %</u>
Rte de Reuchenette	7.00-8.00	901	58	6,4
Rte de Soleure	7.30-8.30	742	87	11,7
Rte de Berne T6	7.30-8.30	917	81	8,8
Rte de Neuchâtel	6.00-7.00	357	62	17,4

B. <u>Comptages 1980 sur les mêmes axes, mais plus loin de l'agglomération (stations automatiques, période de 14 heures: 7.00-21.00h)</u>				
	<u>date (1980)</u>	<u>trafic total véhicules</u>	<u>trafic lourd véhicules</u>	<u>trafic lourd %</u>
Péry	Je 22.5	7774	682	8,8
	Me 4.6	7979	691	8,7
	Ma 5,8	7643	501	6,6
Boujean	Je 22.5	12440	1176	9,5
	Me 4.6	11926	1196	10,0
	Ma 5.8	11539	844	7,3
Worben (T6)	Je 22.5	8271	855	10,1
	Me 4.6	8811	833	9,5
	Ma 5.8	7792	662	8,5
Douanne	Je 22.5	7616	715	9,4
	Me 4.6	7767	671	8,6
	Ma 5.8	8091	501	6,2

Source : VARIANTENVERGLEICH N5/T6 1982; Der Schwerverkehr in der Region Biel, Zusatzbericht, revidiert 22. Juni 1982 (manuscrit).

Table 11: Part du trafic lourd: comptages manuels 1985

Comptages manuels effectués par l'Office d'urbanisme de la Ville de Bienne et l'Inspectora des Travaux publics de Nidau les 25, 26 et 27 juin 1987: moyenne de mardi, mercredi et jeudi.					
<u>Route</u>	<u>Direction</u>	<u>Heure</u>	<u>Trafic total</u> véhicules	<u>Trafic lourd</u> véhicules	<u>Trafic lourd</u> %
Route de Berne	vers Bienne	6.45-7.45	726	61	8,4
		15.00-16.00	485	80	16,5
		17.00-18.00	885	42	4,7
		3 x 1h	2096	183	8,7
	vers Berne	6.45-7.45	665	62	9,3
		15.00-16.00	570	64	11,2
		17.00-18.00	891	33	3,7
		3 x 1h	2126	159	7,2
Rte de Neuchâtel	vers Bienne	7.00-8.00	424	27	6,4
		15.00-16.00	348	46	13,2
		17.15-18.15	429	27	6,3
		3 x 1h	1201	100	8,3
	vers Neuchâtel	7.00-8.00	279	58	20,8
		15.00-16.00	332	41	12,3
		17.15-18.15	534	16	3,0
		3 x 1h	1145	115	10,0
Nidau: Hauptstrasse (à la hauteur du pont)	vers Bienne	7.00-8.00	896	31	3,5
		15.00-16.00	459	21	4,6
		17.15-18.15	752	14	1,9
		3 x 1h	2107	66	3,1
	vers l'exté- rieur	7.00-8.00	383	32	8,4
		15.00-16.00	487	23	4,7
		17.15-18.15	941	11	1,2
		3 x 1h	1811	66	3,6

Table 12: Part du trafic lourd: comptage automatique 1985

Comptage automatique effectué par l'Office d'urbanisme de la Ville de Bienne à la Route de Soleure, direction Bienne, du 24 avril au 5 mai 1985.					
<u>Jour</u> ¹	<u>Heures</u>	<u>Trafic total</u> véhicules	<u>Trafic léger</u> véhicules	<u>Trafic lourd</u> véhicules	<u>Trafic lourd</u> %
Jeudi	7 - 19	5144	4705	439	8,5
25.4.86	0 - 24	7042	6524	518	7,4
Samedi	7 - 19	5110	4124	78	1,5
27.4.85	0 - 24	6935	6839	96	1,4
Dimanche	7 - 19	4158	4124	34	0,8
28.4.85	0 - 24	5898	5845	53	0,8
Lundi	7 - 19	4933	4554	379	7,7
29.4.85	0 - 24	6449	6009	440	6,8
Mardi	7 - 19	4948	4571	377	7,6
30.4.58	0 - 24	6587	6146	441	6,7
Mercredi	7 - 19	5497	5308	189	3,4 ²
1.5.85 ²	0 - 24	6859	6637	222	3,2 ²
Jeudi	7 - 19	4887	4427	460	9,4
2.5.85	0 - 24	6523	6002	521	8,0
Vendredi	7 - 19	4910	4532	378	7,7
3.5.85	0 - 24	6530	6113	417	6,4
Samedi	7 - 19	5308	5256	52	1,0
4.5.85	0 - 24	7000	6928	72	1,0
Dimanche	7 - 19	4746	4727	19	0,4
5.5.85	0 - 24	6593	6549	44	0,7

1 Les valeurs de vendredi 26.4.85 sont incomplètes

2 Le premier mai est jour férié à Bienne

Table 13: Densité du trafic: vitesse commerciale et part du trafic lourd: quelques exemples des valeurs utilisées pour le calcul des émissions

Route	Densité du trafic véh/jour	Vitesse commerciale km/h	Trafic lourd %	Type de route ou de trafic
Rte de Neuchâtel	12110	68	7	trafic fluide sur axe de sortie
Rte de Berne	16020	96	7	trafic fluide sur autoroute
Rte des Pasquart	13115	43	6	trafic de transit fluide
Pont du Moulin	17665	20	6	trafic lent au centre ville
Rte de Reuchenette	13485	40	6	trafic de transit fluide
Rte de Mâche	15115	43	3	trafic local et de transit fluide
Rue Centrale entre la Place Centrale et la Rue A.Schöni	7045	13	3	trafic urbain ralenti
Chemin du Tilleul	470	26	0	desserte de quartier
Rue Renfer	4400	26	6	desserte industrielle

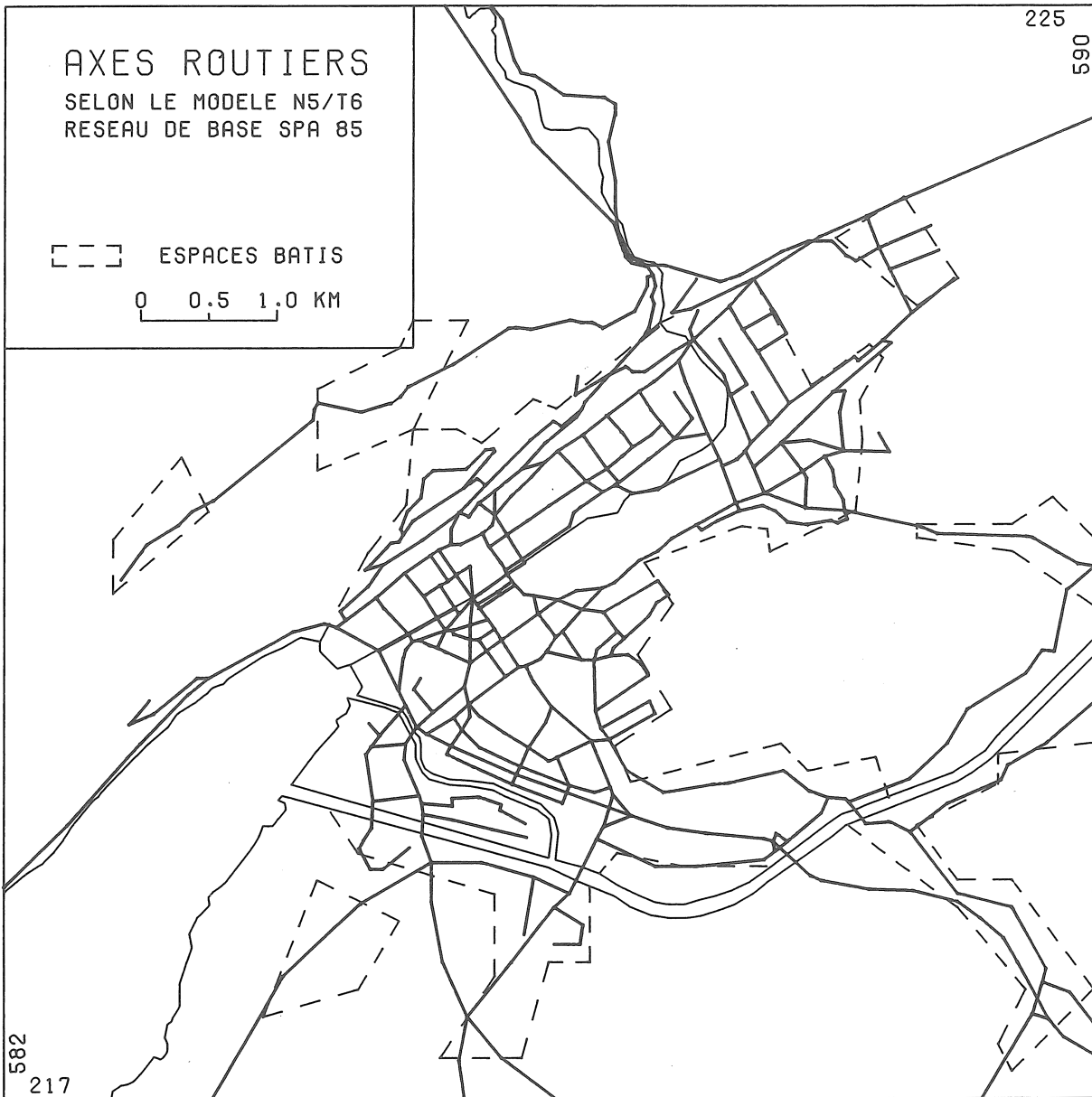
table 10. Ces valeurs montrent que, contrairement à des rumeurs très répandues dans la région, l'agglomération de Bienne ne présente pas un trafic lourd supérieur à la moyenne (VARIANTENVERGLEICH N5/T6 1982: 3).

La nécessité d'actualiser le modèle de trafic N5/T6 a fort heureusement donné lieu à des recensements de trafic plus récents qui portent notamment sur le trafic lourd. Il s'agit d'un comptage automatique très détaillé portant sur 12 jours (24 avril au 5 mai 1985) à la Route de Soleure, direction Bienne, et de trois comptages manuels à la Route de Berne (T6) (25 au 27 juin 1985), à la Route de Neuchâtel (18 au 20 juin 1985) et à la Hauptstrasse à Nidau (25 au 27 juin 1985). C'est ces comptages, effectués par l'Office d'urbanisme de la Ville de Bienne et par l'Inspectorat des Travaux Publics de Nidau (comptage à Nidau) et traités par Madame Buchenel de l'Office d'urbanisme, qui ont servi de base à l'indication de la part de trafic lourd pour le relevé des émissions. Les tables 11 et 12 reproduisent l'essentiel de ces comptages. La part de trafic lourd sur les autres routes du réseau a été estimée à partir de ces données par comparaison, en tenant compte notamment de l'importance de la route, du genre de quartiers qu'elle traverse ou relie et de la desserte des entreprises industrielles. Nous avons également tenu compte de la part du trafic lourd très faible en fin de semaine (table 12 et chapitre 3.6), ce qui explique les pourcentages assez faibles que nous avons adoptés, qui varient entre 0% dans les quartiers résidentiels et 6-7% sur les plus grands axes et sur les dessertes industrielles. La table 13 illustre le choix des vitesses commerciales et de la part de trafic lourd par quelques exemples caractéristiques.

3.4.5 Passage du modèle de trafic au relevé des émissions

Le plan de charge du modèle N5/T6 nous a été fourni sous forme d'une carte indiquant pour chaque tronçon de route la densité journalière moyenne de trafic par sens de circulation. En fait, il s'agit plus d'un schéma sans échelle précise que d'une carte. Avec suffisamment d'expérience des lieux, on y reconnaît bien chaque route du réseau réel mais toutes les routes y sont rectilignes et il n'est pas possible d'y identifier les coordonnées exactes des extrémités des tronçons. De même, lorsque les deux sens de circulation sont séparés sur deux routes à sens unique, le modèle n'indique qu'un tronçon à deux voies. C'est notamment le cas pour la T6 dans les Gorges du Taubenloch, pour la Rue du Contrôle et la Rue Alexandre Schöni, ou encore pour le Quai du Haut entre la Rue du Jura et la Rue du Marché-Neuf, par exemple.

Figure 9: Réseau de trafic



Le premier travail consiste donc à reporter le plan de charge sur le réseau de trafic réel à l'aide des plans cadastraux, en identifiant avec exactitude les coordonnées exactes des extrémités des tronçons et en segmentant les tronçons de manière à suivre fidèlement le tracé des routes. Ce travail aboutit à une banque de données des segments de route indiquant pour chaque segment les coordonnées des extrémités et la densité du trafic. La figure 9 présente le réseau de routes considéré lors du relevé de l'émission due au trafic.

La banque de données ainsi obtenue, qui contient plus de 500 segments de routes, peut ensuite être complétée par l'indication de la vitesse moyenne (3.4.3) et du pourcentage de trafic lourd (3.4.4) sur chaque tronçon.

On peut dès lors aborder le calcul des émissions, qui comprend trois phases: le calcul de l'émission spécifique pour chaque tronçon de route, l'affectation des tronçons de routes aux hectares et le calcul de l'émission journalière et annuelle produite dans chaque hectare.

Le calcul de l'émission spécifique par mètre de route est effectué à partir de la charge de trafic, de la vitesse moyenne, de la part de trafic lourd et des facteurs d'émission indiqués à la table 4 selon la formule

$$\begin{array}{l} \text{émission} \\ \text{spécifique} \\ \text{par route} \end{array} = \begin{array}{l} \text{charge de} \\ \text{trafic léger} \\ \text{par route} \end{array} * \begin{array}{l} \text{facteur d'émission} \\ \text{du trafic léger pour} \\ \text{la vitesse } x \end{array} + \begin{array}{l} \text{charge de} \\ \text{trafic lourd} \\ \text{par route} \end{array} * \begin{array}{l} \text{facteur d'émission} \\ \text{du trafic lourd pour} \\ \text{la vitesse } x \end{array}$$

Lorsque la vitesse attribuée au tronçon de route ne correspond pas à l'une des vitesses standardisées de la table 4, le facteur d'émission correspondant à cette vitesse est interpolé linéairement entre les deux valeurs standards les plus proches. Cette démarche fournit une banque de données intermédiaire qui contient les coordonnées et l'émission spécifique de chaque segment de route.

Pour pouvoir comparer les résultats du relevé du trafic avec ceux des autres groupes de sources, il faut ensuite affecter le réseau de route à la grille d'hectares, de sorte à connaître, pour chaque hectare, les routes qui le traversent, leur émission spécifique et leur longueur dans l'hectare. L'émission journalière totale de l'hectare correspond à la somme des émissions de chaque

tronçon de route, déterminées en multipliant l'émission spécifique par la longueur de la route dans l'hectare:

$$\text{émission par hectare} = \sum_{i=1}^n \text{émission spécifique de la route } i * \text{longueur de la route } i$$

où n = nombre de routes dans l'hectare

Le passage de l'émission journalière à l'émission annuelle se fait par simple multiplication par 365, une démarche également adoptée par BRUEGGER et DESCLOUX (1987: 16). Le passage de l'émission journalière à l'émission annuelle est moins trivial qu'il n'y paraît. De nombreux auteurs y renoncent, notamment PELLI (1976). Les cadastres d'émission allemands font systématiquement le passage, mais les travaux consultés laissent penser que leurs méthodes sont plus complexes (p. ex. DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 73 - 77). Les faits suivants étayent notre choix:

- le modèle de trafic N5/T6 représente le trafic pour un jour ouvrable moyen de l'année (3.4.2)
- Les comptages de trafic récents montrent qu'il n'y a plus d'écarts importants entre la charge de trafic des jours de semaine et celle des samedis et dimanches (3.6.3).

3.4.6 Le relevé du trafic en bref

Le relevé du trafic repose essentiellement sur l'utilisation d'un modèle de trafic existant. Les valeurs d'émissions spécifiques des véhicules sont intégralement reprises de la littérature, la part de trafic lourd est déterminée à partir de recensements récents alors que les vitesses commerciales sont estimées à partir de connaissances empiriques sur l'agglomération de Bienne.

3.5 Relevé de l'industrie

3.5.1 Données disponibles et principes

Les entreprises soumises aux prescriptions spéciales en vertu de la loi sur le travail et comptant plus de 15 employés dans la production ont été définies comme émetteurs industriels (3.2.2). Les données disponibles à leur sujet sont extrêmement limitées:

- La liste des établissements industriels et des travailleurs soumis aux prescriptions spéciales, liste établie dans le cadre de la statistique de l'industrie réalisée régulièrement par l'Office fédéral de la statistique. Cette liste indique pour chaque entreprise le secteur industriel, la commune d'établissement et plusieurs données quant au nombre de travailleurs soumis aux prescriptions spéciales.
- Des rapports concernant des entreprises dont les installations n'étaient pas conformes aux prescriptions en matière de protection de l'air à l'époque de notre relevé. Ces quelques rapports établis par la Division de protection de l'air de l'Office de l'industrie, des arts et métiers et du travail du canton de Berne contiennent des indications fiables sur les processus mis en cause et généralement aussi des valeurs d'émission calculées ou mesurées. Vu leur caractère confidentiel, ces rapports n'ont pu être que consultés. Ils concernent moins de dix établissements.
- Le catalogue des chaudières 1975 établi par la SVDB (Schweiz. Verein für Druckbehälterüberwachung) qui avait servi à l'établissement du cadastre des émissions de SO₂ 1975 (BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980). Cette liste, qui nous a été remise à titre confidentiel par l'Office fédéral de la protection de l'environnement, contient pour chaque chaudière notamment l'année de construction et la puissance installée. Pour la région biennoise, elle ne touche toutefois que 41 chaudières réparties entre cinq entreprises industrielles au sens de la définition choisie, trois des quatre exceptions du chauffage domestique (cf. 3.3.5) et neuf autres établissements.
- La liste d'adresses des entreprises membres de l'Union du Commerce et de l'Industrie (UCI), section Bienne-Seeland, qui nous a été aimablement fournie par l'UCI.

Ces données permettent certes de cerner les entreprises qu'il faudrait considérer dans le cadre d'une étude des émissions et contiennent des valeurs d'émission pour quelques établissements problématiques mais elles ne permettent nul-

lement un relevé représentatif des émissions industrielles qui renseigne de surcroît également sur leur distribution spatiale. Alors que les méthodes adoptées pour les groupes de sources "chauffage domestique" et "trafic" mettent à profit des données existantes pour en créer d'autres, le relevé de l'industrie réclame donc l'établissement de données entièrement nouvelles. Les données de nature socio-économiques ne permettent guère de conclusions quant aux processus industriels effectivement utilisés et moins encore quant aux émissions atmosphériques qui en découlent éventuellement: la source de renseignement la plus sûre paraît donc résider dans les entreprises industrielles elles-mêmes. Il convient donc de les aborder au moyen d'une enquête.

3.5.2 Organisation d'une enquête

L'organisation d'une enquête dans les entreprises industrielles de la région biennoise repose sur une étude approfondie du thème industrie dans les cadastres d'émissions allemands (DER HESSISCHE MINISTER FÜR LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982; MINISTERIUM FÜR ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1975, 1980, 1982), sur l'étude des questionnaires développés pour le cadastre des bâtiments du canton de Zurich (cf. AMT FÜR TECHNISCHE ANLAGEN UND LUFTHYGIENE 1983: 32 - 33) et pour la conception énergétique de la ville de Berne (cf. INGENIEURGEMEINSCHAFT GRUNENKO & BALZARI, SCHUDEL 1977) et sur une collaboration étroite avec les experts de l'hygiène de l'air (OPFE: Dr. A. Stettler; KIGA-Bern: Dr. H. Mathys), de l'énergie (IBE, Huber) et des techniques d'enquête (Dr. F. Mattig, alors assistant au GIUB).

L'ampleur et la forme de l'enquête dépendent de facteurs tels que l'information recherchée, la précision souhaitée, le niveau de connaissance du public cible et de l'enquêteur, le caractère de l'enquête (expérimental, officiel...) ainsi que le temps et les moyens disponibles. Pour la région biennoise, ces facteurs appellent les remarques suivantes :

- Les informations recherchées sont des indications chiffrées quant aux deux sources possibles des émissions d'une entreprise industrielle, soit la consommation d'énergie et les processus de production.
- Tout en veillant à obtenir des industriels les indications les plus exactes possibles, il faut garder à l'esprit que la précision recherchée est un ordre de grandeur permettant une comparaison correcte entre les entreprises elles-mêmes et entre l'industrie et les autres sources de pollution.

- Les personnes qui répondent à l'enquête seront vraisemblablement des gestionnaires ou des chefs techniques qui disposent a priori d'un savoir très spécialisé sur la production et tout au moins de bonnes connaissances quant à la consommation d'énergie de leur entreprise. C'est ce savoir que l'enquête doit mettre à profit. L'enquêteur, de par sa formation, dispose de connaissances très modestes dans ce domaine. Par contre, notamment grâce à l'appui d'experts, il devrait être mieux à même d'évaluer l'aspect qualité de l'air.
- L'enquête, menée dans le cadre d'une thèse de doctorat, a de prime abord un caractère expérimental. Les experts du domaine de la protection de l'air ont d'ailleurs vivement déconseillé de lui donner un caractère officiel.
- L'enquête peut demander un effort personnel considérable mais l'investissement de moyens doit être limité au strict minimum. L'enquête détourne en principe la personne interrogée de ses activités prioritaires: ce sera au pire une surcharge désagréable et au mieux un instant de détente.

Ces quelques réflexions montrent que l'enquête doit se limiter à quelques questions simples sur les processus de production et sur la consommation d'énergie de l'entreprise, domaines où les connaissances du public cible sont supérieures à celles de l'enquêteur. Le questionnaire d'enquête (annexe 1) est discuté ci-dessous au chapitre 3.5.3.

En considération du temps disponible important et du taux de réponse élevé indispensable au succès de l'enquête, la forme de l'interview personnelle a été adoptée. En plus du meilleur taux de réponse, ce contact personnel avec les entreprises permet, par le dialogue, d'augmenter la qualité des réponses et de les compléter par des informations supplémentaires souvent indispensables à la compréhension même de l'entreprise. Ces renseignements directs et l'impression recueillie lors de la visite de quelques entreprises permettent d'interpréter les résultats de l'enquête avec plus d'exactitude et plus de nuance.

L'enquête a été réalisée comme suit: Les questionnaires, accompagnés d'une lettre d'introduction et d'une garantie de la protection des données, ont été envoyés aux entreprises par phases successives, d'avril à décembre 1982. Quelques jours après l'envoi, la firme était contactée pour rendez-vous, puis le questionnaire était rempli lors de l'interview.

Le soutien aimable accordé par l'Union du Commerce et de l'Industrie (UCI), section Bienne-Seeland, a encore accru les chances de succès de l'enquête.

3.5.3 Questionnaire d'enquête

Les réflexions présentées au chapitre 3.5.2 ont conduit à l'élaboration d'un questionnaire simple comprenant cinq parties : adresse de l'entreprise, consommation d'énergie en 1980, prévisions 1985, chaleur perdue et émission de polluant durant le processus. Les rubriques prévisions 1985 et chaleur perdue ne sont pas indispensables au relevé des émissions. Elles ont été ajoutées dans l'éventualité d'une utilisation ultérieure des données pour la conception énergétique régionale (BERLINCOURT 1985; SULZER ENERGIECONSULTING AG 1985: 6). Quelques précisions sur ces cinq volets d'enquête :

Adresse de l'entreprise

Informations générales permettant de localiser et de classer l'entreprise: adresse exacte, secteur industriel, éventuelles succursales dans la région, personne de contact et téléphone. Lorsque l'entreprise comprend plusieurs bâtiments (ou succursales) à des endroits différents dans la région, un questionnaire est rempli séparément pour chaque emplacement. Cette question permet ainsi d'éviter des erreurs quant à la répartition spatiale des émissions.

Consommation d'énergie en 1980

La consommation annuelle d'énergie, répartie en combustibles, électricité et autres sources d'énergie est relevée dans un tableau inspiré des colonnes A, B et C du questionnaire développé par l'Union suisse des consommateurs d'énergie de l'industrie et des autres branches économiques (EKV 1981 : annexe). Les combustibles considérés sont les suivants: huile légère, huile moyenne ou lourde, charbon et coke, gaz naturel et autres combustibles (à préciser; p. ex. incinération de déchets, bois, huiles usées). Sous électricité, on fait la distinction entre l'énergie provenant du réseau officiel et l'énergie produite dans l'entreprise (p. ex. petite centrale hydraulique). Parmi les autres sources d'énergie, la chaleur du chauffage à distance est la plus vraisemblable. L'utilisation de l'énergie dans l'entreprise (chaleur, lumière, force), relevée dans l'enquête de l'UCE/EKV, n'est pas considérée ici.

Prévisions pour 1985

Ce volet, qui ne porte que sur la consommation d'énergie doit donner une approximation de l'évolution à court terme dans l'hypothèse que la conjoncture reste stable. L'évolution, exprimée en pour-cent, est relevée globalement et pour chaque agent énergétique.

Chaleur perdue

En plus de la chaleur émise par les installations de chauffage, une entreprise peut rejeter de la chaleur dans l'eau ou dans l'atmosphère lors des processus de production ou lorsque certains locaux sont climatisés. Bien qu'il s'agisse d'un impact sur l'environnement, ce phénomène n'est pas envisagé dans le relevé des émissions. Il peut être important pour la conception énergétique régionale. Les rejets de chaleur dans l'eau et dans l'atmosphère ainsi que leur évolution de 1980 à 1985 sont envisagés. On cherche également à savoir si l'entreprise est en principe intéressée à utiliser de la chaleur à distance.

Emission de polluants durant le processus de production

La table 5 (3.2.3) qui présente les facteurs d'émission pour les différents processus industriels, montre la très grande variété de processus qui provoquent une pollution atmosphérique. Les questions portent sur le processus de fabrication ou le produit fabriqué, sur les quantités produites ou utilisées, les facteurs d'émission et les quantités de polluant émises ainsi que sur l'évolution probable jusqu'en 1985. Ce groupe de questions est certainement le plus délicat des cinq, tant par sa complexité technique que par les secrets de fabrication qu'il peut toucher ou encore par l'intérêt souvent malveillant que lui portent les médias. De ce fait, ces questions ont un caractère expérimental prononcé.

Le développement d'un tel questionnaire est un travail de longue haleine, comme le laissent certainement déjà deviner les réflexions qui sont à son origine (cf 3.5.2). La phase de définition thématique n'est que le premier pas de la démarche. La définition des questions elles-mêmes, leur formulation exacte et la vérification de leur bien-fondé lui font suite. Enfin, la présentation peut avoir un effet décisif. Une fois qu'une version suffisamment définitive est établie, il est bon de soumettre le questionnaire au verdict de la pratique en le testant dans quelques entreprises sélectionnées. Dans notre cas, ce contrôle s'est avéré des plus utiles car plusieurs questions ont été ajoutées à la suggestion des industriels interrogés, notamment celles portant sur les améliorations techniques à court terme (parties 4 et 5).

3.5.4 Participation à l'enquête

La participation à l'enquête montre que la méthode intensive choisie est justifiée (table 14): la participation des entreprises s'élève à 90.4% au total. Parmi ces 122 entreprises, onze ont moins de 15 employés et, conformément aux définitions adoptées (3.2.2), leurs données n'ont pas été considérées lors du

traitement. Il s'agit d'entreprises relevées en début d'enquête. Leurs indications ont justement permis de rehausser la limite du nombre d'employés à 15. Le manque de temps est la justification la plus courante pour les huit cas de refus. Précisons que les entreprises ayant refusé de se prêter à l'enquête lors de la première demande ont été relancées. Ce n'est qu'après trois ou quatre tentatives infructueuses que le refus a été accepté comme tel. Enfin, la région biennoise est en prise à de sérieuses difficultés économiques: cinq entreprises horlogères renommées ont dû cesser leurs activités durant l'enquête.

Les entreprises relevées lors de l'enquête sont-elles représentatives de la région? La table 15 montre que 56% des entreprises ont été relevées. Elles occupent 90.3% de la main-d'oeuvre industrielle. De manière générale, l'enquête est donc moins représentative de la structure de chaque secteur industriel que du travail qui y est fourni.

Les secteurs caractéristiques de la région, celui des machines, appareils et véhicules, celui de l'horlogerie et celui du métal, sont particulièrement bien relevés (table 15). A première vue, l'horlogerie est assez mal représentée, car 20 entreprises seulement sur 48 sont relevées. Au niveau des employés, on constate toutefois que les 28 entreprises non relevées n'occupent que 300 employés, alors que les 20 entreprises soumises à l'enquête ont un effectif total de quelque 2300 personnes. En conclusion, l'enquête caractérise donc bien l'industrie de la région biennoise: au niveau du relevé, nous avons la garantie que le cadastre des émissions industrielles est représentatif.

3.5.5 Traitement des résultats d'enquête

La discussion des facteurs d'émission (3.2.3) a déjà clairement montré que le dépouillement et le traitement des données d'enquête devra être fait différemment pour l'émission due au chauffage des locaux industriels, d'une part et pour l'émission résultant de processus de fabrication, d'autre part (figure 10).

Le calcul de l'émission à partir des données de consommation relevées dans le second volet de l'enquête peut se faire selon une méthode standard. Les valeurs de consommation ont été introduites dans une banque de donnée indiquant pour chaque entreprise la commune d'établissement, les coordonnées de l'emplacement, le numéro d'enquête, le secteur industriel, les valeurs de consommation et le nom de la société. Comme nous avons volontairement laissé à l'industriel le choix des unités dans lesquelles il exprimait la consommation de son entreprise,

Table 14: participation à l'enquête dans les entreprises industrielles

<u>Déroulement de l'enquête</u>	<u>entreprises</u>	<u>%</u>	<u>Σ %</u>
enquêtes réalisées:			
- entreprises de plus de 15 employés	111	82,2	82,2
- entreprises de moins de 15 employés	11	8,1	90,4
enquêtes refusées	8	5,9	96,3
cessation d'activités	5	3,7	100,0
totaux	135	100,0	100,0
<p>Les entreprises de moins de 15 employés n'ont pas été considérées lors du traitement, conformément aux définitions (cf. 3.2.2)</p>			

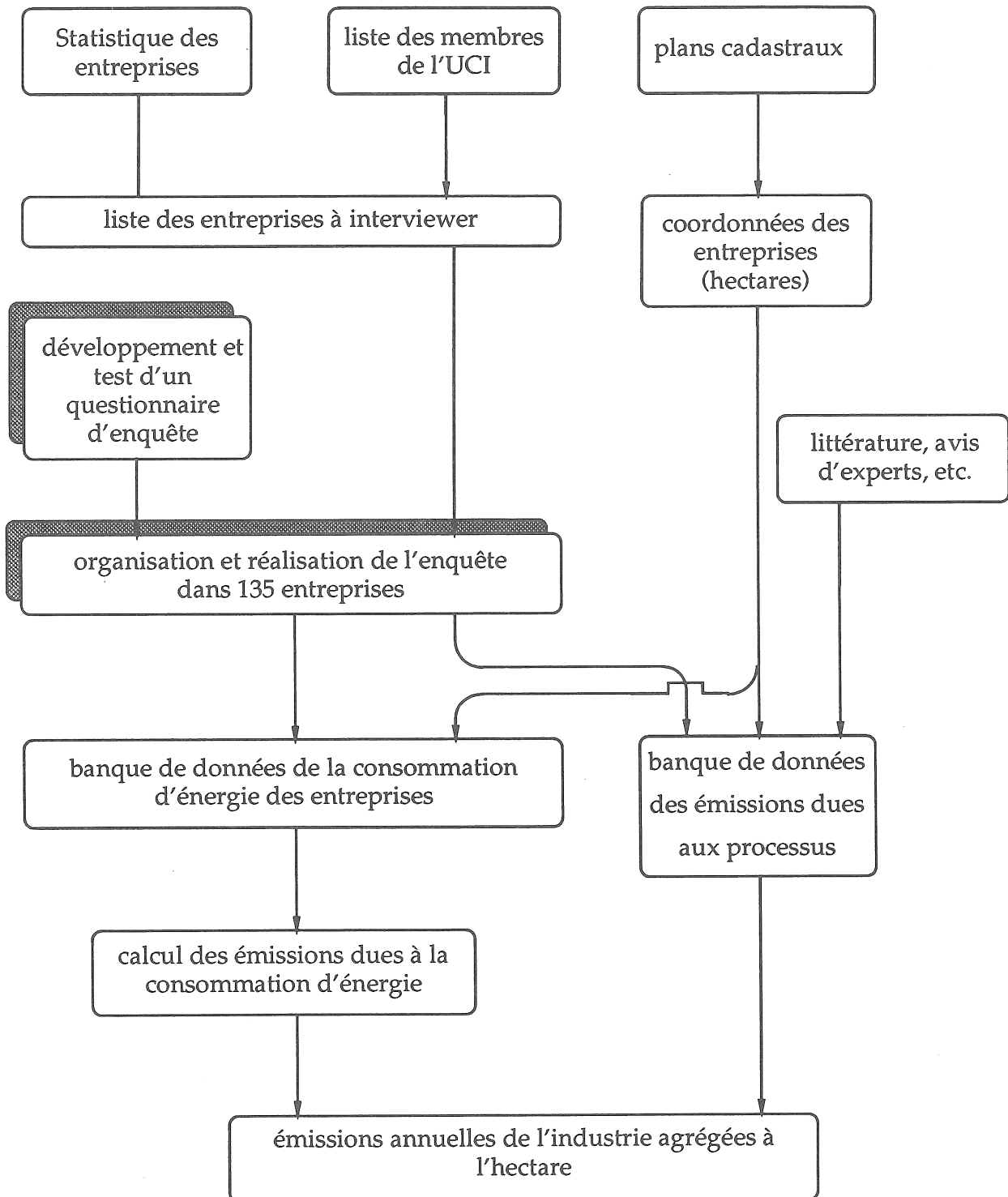
Table 15 : Représentativité de l'enquête par rapport au nombre d'entreprises et d'employés par secteur industriel

secteur industriel	nombre d'entreprises industrielles			nombre d'employés des entreprises		
	total par secteur	%	entreprises relevées	total par secteur	%	employés des entreprises relevées
25 traitement du bois	8	4,0	4	186	1,9	150
29 industrie graphique	18	9,1	8	884	9,2	745
33 traitement des pierres et terres	7	3,5	3	197	2,0	160
34 industrie du métal	34	17,2	23	1621	16,8	1513
35 machines, appareils et véhicules	54	27,3	41	3501	36,2	3351
36 horlogerie	48	24,2	20	2622	27,1	2318
divers	29	14,7	12	655	6,8	470
Totaux ¹	198	100,0	111	9666	100,0	8707
						90,3

Source : Bureau fédéral des statistiques: établissements industriels soumis aux prescriptions spéciales, 1980.

¹ Communes considérées: Bienne, Nidau, Port, Brügg, Aegerten, Orpund, Safnern, Pieterlen, Orvin, Péry-Reuchenette.
Onze entreprises de moins de 15 employés viennent s'y ajouter (cf. table 14)

Figure 10 Industrie: diagramme méthodique



il a fallu transformer toutes les valeurs en terajoules (10^9 Joules) à l'aide des facteurs de conversion utilisés par l'UCE (EKV 1981: 85), reproduites à la table 16, avant de calculer l'émission selon les valeurs de la table 3 (3.2.3).

Le calcul de l'émission due aux processus industriels est effectué séparément pour chaque cas (cf. 3.2.3 et table 5) selon les indications de l'entreprise ou des valeurs bibliographiques. Dans le cas le plus simple, lorsque l'émission au processus n'a aucun lien avec la consommation d'énergie, ces valeurs peuvent simplement être ajoutées aux valeurs d'émission à la consommation. Au cas échéant, lorsque le processus en cause engendre une consommation d'énergie combustible (séchage offset au gaz, séchage de briques, p. ex.), il faut recalculer toutes les valeurs d'émission et remplacer les valeurs calculées selon la consommation par les nouveaux chiffres. Le relevé de l'utilisation de l'énergie dans l'entreprise lors de l'enquête se serait montré utile ici (cf. 3.5.3 et 6.1.1). Toutes ces données calculées individuellement ont été reportées dans une banque de donnée indiquant pour chaque entreprise la commune d'établissement, les coordonnées de l'emplacement, le secteur industriel, les valeurs d'émission et un code précisant s'il faut ajouter ou remplacer les données.

La banque de donnée définitive de l'industrie naît de la fusion de la banque de l'émission à la consommation avec celle de l'émission due aux processus et de l'agrégation subséquente des données à l'hectare.

3.6 Fluctuations temporelles de l'émission

3.6.1 Généralités

Les émissions atmosphériques, calculées le plus généralement pour l'année entière, ne sont pas produites de manière constante et uniforme au cours de l'année. Elles sont sujettes à des fluctuations temporelles dont le rythme varie en fonction de l'émetteur ou du groupe de sources considéré.

Les renseignements bibliographiques au sujet des fluctuations temporelles sont assez rares, mais surtout épars: on trouvera un élément d'information sur le trafic ici (p. ex. PELLI 1977 (1): 28), une analyse des modes d'exploitation des chauffages là (p. ex.: DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 52 - 54), ou encore des installations fixes (REGIONALE PLANUNGSGESELLSCHAFT UNTERMAIN 1977:72), mais pas de discussion complète et systématique du problème. Enfin, en lisant entre les lignes, on

Table 16: Facteurs de conversion des unités d'énergie

<u>Conversion en Terajoule</u>		<u>Conversion du Terajoule en d'autres</u>	
1 J (Joule)	= 10^{-12} TJ	1 TJ = 10^{12} J	
1 kWh	= $3,6 \times 10^{-6}$ TJ	1 TJ = 278×10^3 kWh	
1 GWh	= $3,6$ TJ	1 TJ = $0,278$ GWh	
1 kcal	= $4,187 \times 10^{-9}$ TJ	1 TJ = 239×10^6 kcal	
1 Thermie	= $4,187 \times 10^{-6}$ TJ	1 TJ = 239×10^3 Thermies	
1 t d'huile lourde	= $40,8 \times 10$ TJ	1 TJ = $24,5$ T huile lourde	
1 t d'huile EL	= $41,84 \times 10^{-3}$ TJ	1 TJ = $23,9$ t huile EL	
1 l d'huile EL	= $35,33 \times 10^{-6}$ TJ	1 TJ = 28300 l huile EL	
1 l d'essence	= $31,35 \times 10^{-6}$ TJ	1 TJ = 31900 l essence	
1 t de charbon	= $29,3 \times 10^{-3}$ TJ	1 TJ = $34,1$ t de charbon	
1 Nm ³ de gaz naturel	= $31,8 \times 10^{-6}$ TJ	1 TJ = 31400 Nm ³ de gaz naturel	

Source : EKV (SCHWEIZERISCHER ENERGIE-KONSUMENTENVERBAND VON INDUSTRIE UND WIRTSCHAFT
1981: 84-85)

remarquera que plusieurs auteurs ont abordé la question (ou ont forcément dû le faire) sans rien publier à son sujet (p. ex.: MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1982: 116, 118).

Cette apparente discrétion quant aux fluctuations temporelles de l'émission surprend pour quatre raisons:

1. Tant en Suisse qu'à l'étranger, toute une partie de la législation en matière de protection de l'air concerne les pointes de pollution à court terme (Ordonnance fédérale sur la protection de l'air du 16 décembre 1985, art. 2, al. 5, et annexe 7; TA-LUFT, 1974: 62-63). L'étude des émissions mensuelles, hebdomadaires, journalières et horaires peut, conjointement aux considérations météorologiques, permettre une meilleure compréhension des cas extrêmes.
2. Au niveau des mesures d'assainissement, l'étude des fluctuations temporelles complète, précise et enrichit l'image dégagée par l'émission annuelle. Elle pourrait notamment servir à définir des mesures temporaires telles que les alarmes smog, actuellement à l'examen en Suisse, notamment pour l'ozone et les oxydes d'azote (NEUE ZUERCHER ZEITUNG 130, 1987: 21).
3. Dans le cadre d'études globales comme celle de la région biennoise (cf. 1.2) ou celle de la région du Main inférieur (REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT UNTERMAIN 1977), l'existence d'un système de paramétrisation des émissions quotidiennes et horaires au cours d'une année est une condition préalable à l'utilisation de modèles mathématiques de dispersion, qu'il s'agisse de modèles stationnaires de type gaussien ou de modèles dynamiques. FILLIGER (1986) donne un aperçu récent de ces techniques de simulation.
4. Enfin, il faut garder à l'esprit que le bien-être et la santé du citoyen sont la préoccupation ultime des études de pollution de l'air. A n'en pas douter, c'est dans le court terme que le citoyen perçoit le plus directement la pollution de l'air.

Dans le cadre du projet biennois, la modélisation et les questions d'aménagement sont certainement les facteurs essentiels qui nous ont conduits à étudier les fluctuations temporelles de l'émission. Comme l'approche présentée ci-dessous n'a été réalisée qu'entre juillet 1986 et mars 1987, (FILLIGER 1986: 44-45) a dû recourir à des hypothèses plus simples pour ses travaux de modélisation. Nos travaux ne remettent nullement en cause ses résultats, mais ils proposent une différenciation plus fine.

La démarche adoptée répartit l'émission de la période de temps plus longue sur les unités de temps plus courtes avec une clé de répartition différente pour le chauffage domestique, le chauffage industriel, les processus industriels standards et particuliers, le trafic léger et le trafic lourd. Elle comprend quatre phases: le passage de l'émission annuelle à l'émission mensuelle, le passage (techniquement nécessaire mais inintéressant au niveau des résultats) de l'émission mensuelle à l'émission hebdomadaire, la répartition de l'émission hebdomadaire sur les jours de la semaine et enfin la répartition de l'émission journalière sur les 24 heures de la journée. Ces quatre phases sont présentées ci-dessous séparément pour les trois groupes de sources chauffage, industrie et trafic.

3.6.2 Chauffage domestique

La figure 11, partie "chauffage domestique", exprime les clés de répartition adoptées pour le chauffage domestique.

Le passage de l'émission annuelle à l'émission mensuelle se fait à l'aide de la notion de degré-jour qui exprime la somme sur une période de temps déterminée de la différence entre la température des locaux et la température journalière moyenne pour les jours de chauffage (SIA 381/3, 1982: 5). La température des locaux est fixée à 20° C et les jours de chauffage sont les jours où la température journalière moyenne est inférieure ou égale à 12° C. Bienne compte annuellement 3670 degrés-jours et 227 jours de chauffage, janvier présentant 658 degrés-jours et juillet seulement sept (SIA 381/3, 1982: 10). Ces valeurs sont des moyennes à long terme (1961 - 1970). Une correction s'impose car une partie de l'énergie de chauffage sert à la préparation d'eau chaude, que l'on peut considérer comme constante. Nous avons fixé cette part à 12%. Nous avons donc réparti l'émission annuelle sur les mois de l'année à raison de 12% répartis uniformément et de 88% répartis selon les degrés-jours.

Pour être tout à fait précis, il faudrait également tenir compte des fluctuations de température lors du calcul de l'émission hebdomadaire et de l'émission quotidienne. Ceci nécessiterait toutefois l'indication du nombre de degrés-jours pour chaque jour d'année. Les clés de répartition subséquentes font donc abstraction des fluctuations de température.

L'émission mensuelle a été répartie de manière uniforme sur les semaines en admettant que l'émission hebdomadaire équivaut à sept trentièmes de l'émission mensuelle, soit 23,3%. Cette généralisation introduit une erreur négligeable en février (sous-estimation: 7%) et durant les mois à 31 jours (surestimation: 3%).

Il est également permis d'admettre que la consommation de chauffage ne varie pas d'un jour à l'autre au cours de la semaine (1/7 ou 14,29%), comme l'acceptent également nos collègues à Wetzlar (HESSISCHER MINISTER FÜR LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 53).

Les fluctuations de l'émission au cours de la journée dépendent principalement du mode d'exploitation des systèmes de chauffage. De manière générale, l'exploitation sera réduite la nuit et normale au cours de la journée avec un maximum certain en début de matinée, très visible dans les mesures d'immission de SO₂ (SCHUEPBACH 1984: 23-25). Nous avons également admis un second maximum, moins marqué, en fin d'après-midi.

3.6.3 Trafic routier

La figure 11, partie "trafic routier", exprime les clés de répartition admises pour le trafic routier.

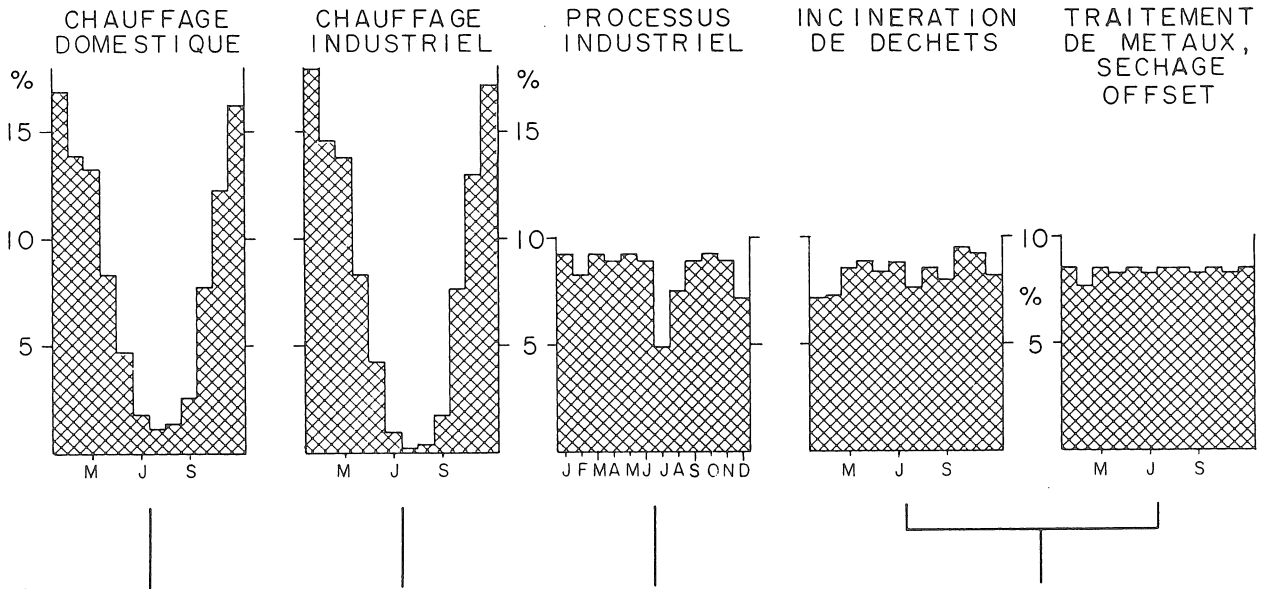
Les fluctuations temporelles de l'émission dues au trafic routier dépendent essentiellement des variations de la charge de trafic. C'est pourquoi la répartition de l'émission annuelle sur les 12 mois repose sur la norme SNV 641 230 de l'Association suisse de normalisation. Cette norme indique les courbes de variation annuelle pour quatre genres de circulation: urbaine, régionale, interrégionale et touristique (SNV 641 230, 1970: 4). Nous avons admis que la circulation de la région biennoise était avant tout de caractère régional et interrégional. Nous avons donc établi une courbe moyenne entre ces deux courbes. Nous avons ensuite introduit une particularité de la région biennoise, à savoir les vacances horlogères, qui se déroulent entre mi-juillet et début août, donnant de ce fait à notre courbe un caractère urbain avec une diminution du trafic durant les vacances d'été.

L'émission mensuelle a été uniformément répartie sur les semaines, comme c'est déjà le cas pour le chauffage domestique.

La répartition de l'émission hebdomadaire sur les jours de la semaine est plus complexe, car elle doit être faite séparément pour le trafic lourd et le trafic léger. Elle repose sur les comptages récents présentés au chapitre 3.4.4.

Pour le trafic léger, les fluctuations sont si faibles qu'il est préférable de considérer que la charge de trafic est constante sur tous les jours de la semaine, comme le montre éloquemment les comptages de trafic de la Route de Soleure

Figure 11: Fluctuation temporelle de l'émission



EMISSION SEMAINE = 23,3 % EMISSION MOIS

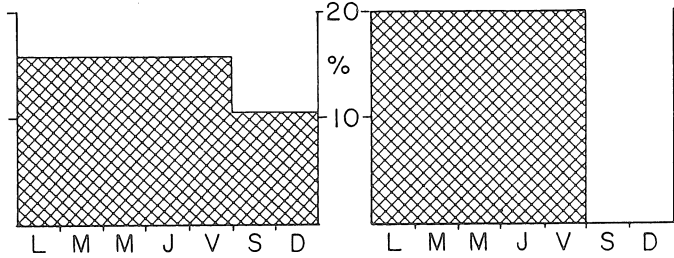
sauf: sauf:

jul = 45,2 % jul = 45,2 %

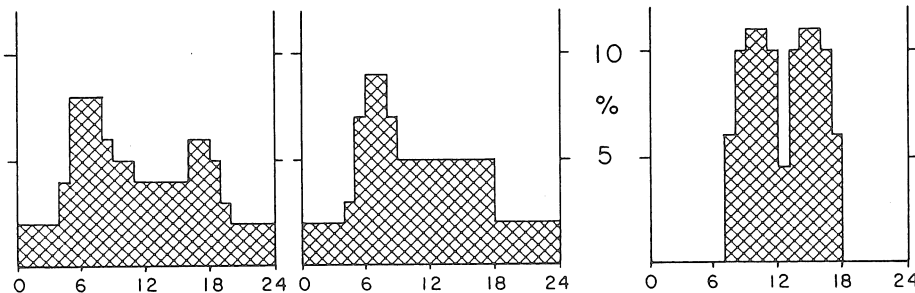
aug = 30,1 % aug = 30,1 %

dec = 24,5 % dec = 30,1 %

$E_{\text{jour}} = \frac{1}{7} E_{\text{sem.}}$

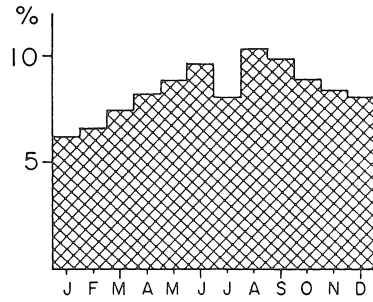


$E_{\text{jour}} = \frac{1}{7} E_{\text{sem.}}$



$E_{\text{heure}} = \frac{1}{24} E_{\text{jour}}$

TRAFIC LEGER ET TRAFIC LOURD

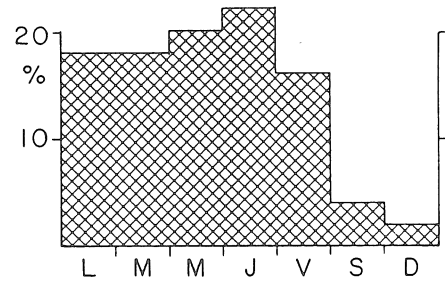


$$E_{\text{semaine}} = 23.3 \% E_{\text{mois}}$$

TRAFIC LEGER

TRAFIC LOURD

$$E_{\text{jour}} = 14.29 \% E_{\text{semaine}}$$

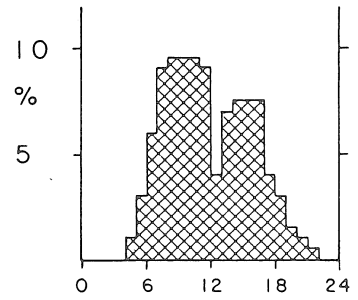
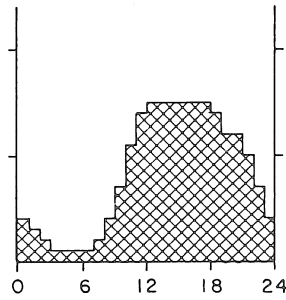
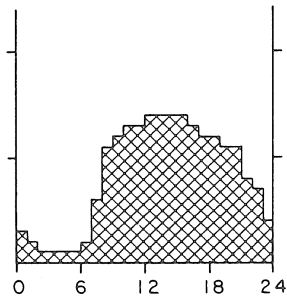
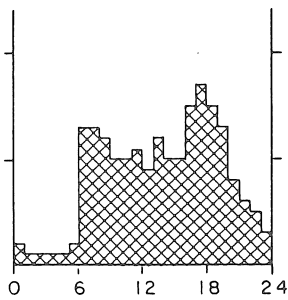


semaine

samedi

dimanche

semaine



(table 12). Ce choix contredit l'idée très répandue selon laquelle le trafic est moins important en fin de semaine. Nous n'aurions pas adopté cette solution si elle ne nous avait pas été confirmée à maintes reprises pour d'autres villes suisses, notamment Genève, et pour d'autres axes importants de l'agglomération biennoise. Le trafic est même souvent plus élevé en fin de semaine sur la Route de Reuchenette et la Route d'Evilard (desserte des zones de récréation rapprochées).

Les comptages montrent une image différente pour le trafic lourd: il est élevé en semaine, avec un maximum mercredi et jeudi, et très faible en fin de semaine, surtout le dimanche.

La répartition de l'émission quotidienne sur les heures de la journée est plus complexe encore, car le comportement du trafic est très différent les jours de semaine, le samedi et le dimanche. Il faut de surcroît traiter séparément le trafic lourd et le trafic léger en semaine (lundi à vendredi). Toutes les courbes reposent pour l'essentiel sur les comptages de la Route de Soleure (table 12). Pour le trafic lourd, les données des autres comptages ont également été mises à profit.

Pour la courbe de trafic léger en semaine, les courbes de Wetzlar (HESSISCHER MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 73) ont été utilisées à titre de comparaison. Notre courbe ne diffère que légèrement de celle qu'utilise FILLIGER (1986: 45), qui se base sur les travaux de PELLI (1977 (1): 28): les maxima du matin et du soir y sont moins marqués mais plus prolongés. Il faut garder à l'esprit que PELLI utilise des données remontant à 1970: les comportements ont sensiblement changé depuis.

La courbe du trafic lourd en semaine présente un maximum très prononcé entre 7 heures et midi et une seconde pointe, nettement plus faible entre 15 heures et 18 heures.

Les courbes de trafic du samedi et du dimanche se distinguent de la courbe des jours de semaine par l'absence de pointes le matin et le soir, par le développement nettement plus tardif du trafic le matin, surtout le dimanche, et par un trafic de soirée plus important. Le trafic est le plus important entre 10 heures et 16 heures le samedi et entre 11 heures et 19 heures le dimanche.

3.6.4 Industrie

Les fluctuations temporelles n'avaient pas été prises en considération lors de l'enquête dans les entreprises industrielles. Il a donc fallu les relever par le biais d'une enquête téléphonique auprès de quelques entreprises. La sélection de ces dernières s'est faite selon leur représentativité pour un grand nombre d'entreprises ou, au contraire, en vertu de leur caractère exceptionnel. Cette démarche a conduit à plusieurs types de courbe pour les processus industriels. Le chauffage des bâtiments industriels est soumis à d'autres rythmes que la production. La figure 11 (chauffages industriels, processus industriels) présente les clés de répartition adoptées.

Chauffage industriel

Les courbes établies pour les chauffages industriels dérivent des réflexions appliquées aux chauffages domestiques, qu'elles complètent par quelques particularités propres aux entreprises.

Pour la répartition de l'émission annuelle sur les mois, nous avons admis que la production d'eau chaude était insignifiante. De ce fait l'émission est répartie strictement selon les degrés-jours. L'émission des vacances ne joue guère de rôle en juillet et août, où l'émission au chauffage est minime, et introduit une erreur insignifiante en décembre (légère surestimation).

L'émission mensuelle est répartie de manière uniforme sur les semaines de chaque mois, comme pour le chauffage domestique, mais les vacances sont prises en ligne de compte en juillet, août et décembre. Les vacances horlogères durent trois semaines, à partir de mi-juillet. Elle affectent la majeure partie des entreprises de la région, Bienne étant littéralement une ville morte à cette époque de l'année. Enfin, la plupart des entreprises font une pause entre Noël et Nouvel-An. De ce fait, l'émission de juillet est répartie sur deux semaines (45,2% par semaine) et celle d'août sur trois semaines (30,1% par semaine). En décembre, par contre, les locaux sont certainement chauffés malgré l'interruption de production. On admet dans ce cas que les chauffages fonctionnent à charge normale jusqu'à Noël et à charge réduite de Noël à Nouvel-An.

Le rythme de chauffage hebdomadaire des entreprises est à peu près similaire à celui du chauffage domestique en semaine, mais différent en fin de semaine: les chauffages industriels fonctionnent à charge normale durant la journée en semaine et à charge réduite la nuit et le week-end.

La distinction entre les rythmes diurnes et nocturnes se retrouve naturellement dans la courbe de variation journalière. Le chauffage fonctionne à pleine charge en début de matinée et à charge normale durant le reste de la journée. La nuit, la charge est réduite. Les courbes hebdomadaires et journalières sont semblables à celles qui ont été utilisées à Wetzlar pour les entreprises d'arts et métiers (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 53).

Processus industriel

Seules cinq entreprises, dont trois situées dans le périmètre de l'étude, présentent un rythme de production qui nécessite l'introduction de courbes de variation individuelles. Ces entreprises, les cinq plus grands émetteurs de la région, produisent de manière continue 24 heures sur 24 au cours de toute l'année (ou presque). Seules les trois entreprises comprises dans le périmètre de l'étude sont considérées ici. Pour deux d'entre elles (numéros d'enquête 18 et 103), la production est constante au cours de toute l'année. Leur courbe de variation annuelle est donc établie strictement selon le nombre de jours par mois. La troisième entreprise est la station régionale d'incinération des déchets qui nous a indiqué les quantités d'ordures mensuelles qu'elle a traitées au cours des années 1978 à 1983. La courbe de variation annuelle de cette entreprise repose sur ces données. On remarque un maximum au printemps et en automne, lorsque les déchets de jardin viennent s'ajouter aux déchets ménagers et un trou en juillet, suite aux vacances d'été (scolaires et horlogères). Les courbes de variation hebdomadaire et journalière de ces trois entreprises sont constantes.

Pour le cas normal, la répartition de l'émission annuelle sur les mois de l'année se fait également en fonction du nombre de jours par mois, mais en tenant compte des vacances en juillet, août et décembre. L'émission mensuelle est répartie de manière uniforme sur les semaines (7/30 ou 23,3%) sauf pour les mois de vacances: juillet (45,2%), août (30,1%) et décembre (30,1%). L'émission hebdomadaire est répartie uniformément sur les cinq jours de travail de la semaine (20% par jour).

La courbe de variation journalière des processus industriels normaux est symétrique par rapport à midi trente, avec un maximum le matin entre 9 et 11 heures et un second entre 14 et 16 heures. Cette répartition s'explique aisément: la plupart des processus de fabrication comprennent une phase de préparation, une phase d'exécution et une phase de finition du travail suivie d'un rétablissement. Considérant qu'un certain nombre d'entreprises ne cesse pas le travail à midi, nous avons admis qu'une certaine émission puisse avoir lieu à ces heures.

4. CARACTERISATION DES EMISSIONS ATMOSPHERIQUES DE L'AGGLOMERATION BIENNOISE

Ce chapitre décrit les émissions atmosphériques de l'agglomération biennoise à partir des résultats que nous avons obtenus grâce aux méthodes présentées au chapitre 3. Partant d'une vue d'ensemble, nous nous proposons de détailler l'image sous trois éclairages différents: la géographie de l'émission, les spécificités des groupes de sources, les fluctuations de l'émission dans le temps.

C'est sciemment que nous nous bornons ici à décrire les émissions, en restreignant l'explication aux éléments indispensables à la compréhension: l'interprétation des résultats et leur signification pratique sont réservées au chapitre 5.

Enfin, il convient de rappeler que toutes les réflexions qui suivent se réfèrent au périmètre commun aux trois groupes de sources, tel qu'il a été défini au chapitre 1.3 (cf. figure 2).

4.1 Aperçu de l'émission

4.1.1 Emission annuelle totale

La figure 12 présente l'émission annuelle des trois polluants considérés pour l'ensemble du périmètre commun aux trois groupes de sources, ainsi que la part respective de ces derniers.

L'émission d'anhydride sulfureux, de quelque 500 tonnes par an, provient essentiellement du chauffage domestique (73,9% de l'émission) et de l'industrie (21,5%), l'émission due au trafic routier étant très faible (4,6%).

Comme le montrent éloquemment les facteurs d'émission pour les chauffages à huile et pour les chauffages à gaz, l'émission due au chauffage domestique provient presque uniquement des installations à huile. De même, en considération des émissions spécifiques (table 4), le trafic lourd, peu important au niveau de la charge de trafic (cf. 3.4.4), fait l'essentiel de l'émission de SO₂ due au trafic.

La station d'incinération des déchets urbains produit, à elle seule, près de 49% des émissions industrielles de SO₂, les autres processus faisant exactement 10% et le solde provenant du chauffage des bâtiments industriels.

L'image est très différente pour les oxydes d'azote: l'émission de NO_x , nettement plus importante en chiffres absolus (928 tonnes par an), provient à raison de 68,3% du trafic routier, de 17,8% du chauffage domestique et de 13,9% de l'industrie.

La prépondérance du trafic routier ne fait que confirmer une image déjà bien établie dans l'opinion publique.

L'émission de NO_x provenant du chauffage domestique se répartit proportionnellement aux pourcentages d'installations à huile et à gaz, car les facteurs d'émission de NO_x pour ces deux combustibles sont voisins.

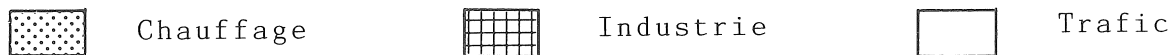
La station d'incinération des déchets urbains reste responsable des deux tiers de l'émission industrielle d'oxydes d'azote, le solde provenant en majeure partie du chauffage des établissements.

L'émission d'hydrocarbures est du même ordre de grandeur (570 tonnes par an) que celle d'anhydride sulfureux. En revanche, la répartition de cette émission entre les groupes de sources est très semblable à celle des oxydes d'azote: 83,5% des émissions résultent du trafic, 9,8% du chauffage domestique et 6,7% de l'industrie.

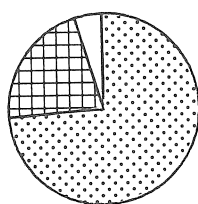
Prépondérance du chauffage domestique au niveau du SO_2 , domination du trafic routier au niveau des deux autres polluants et rôle-clé de quelques grands émetteurs dans le secteur de l'industrie: tel est bien le pronostic qu'aurait porté toute personne familière à la région biennoise. Néanmoins, le rôle mineur de l'industrie, sur lequel nous reviendrons d'ailleurs (cf. 6.), nécessite a priori deux remarques: d'une part, les industries caractéristiques de la région (machines, appareils, véhicules et horlogerie, cf. 3.5.4) sont essentiellement "propres"; d'autre part, plusieurs entreprises ont effectué des assainissements majeurs au cours de la période considérée ici, tant au niveau des processus qu'à celui des agents énergétiques. L'assainissement d'une seule entreprise a, par exemple, amélioré le bilan de l'émission d'hydrocarbures de près de 77 tonnes par an. Sans être aussi spectaculaires, d'autres mesures, telles que le passage à un combustible plus propre (de l'huile lourde au gaz naturel, p. ex.), sont très substantielles par effet cumulatif.

Figure 12: Aperçu de l'émission annuelle totale

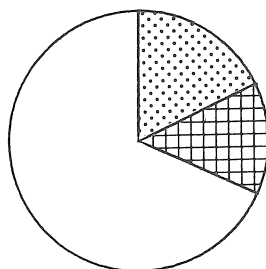
La surface des cercles est proportionnelle à l'émission totale de chaque polluant. Les secteurs indiquent la part de chaque groupe de sources.



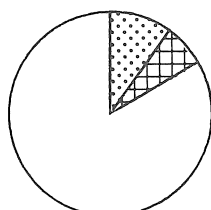
SO₂ (502 T/Y)



NO_x (928 T/Y)



HC (570 T/Y)



4.1.2 Caractérisation de l'émission hectométrique

La figure 13 présente les histogrammes de l'émission annuelle par hectare (kg/ha) pour les trois polluants considérés. Toutes les valeurs d'émission inférieures à 5000 kg/ha ont été utilisées pour le calcul, soit 1965 pour le SO₂, 2027 pour le NO_x et 2021 pour les HC, mais seules les valeurs inférieures à 2000 kg/ha ont été reportées dans le diagramme.

Tout similaires qu'ils paraissent dans les grandes lignes, les histogrammes des trois polluants n'en présentent pas moins des différences de taille dans les détails.

De manière générale, les émissions hectométriques de SO₂, de NO_x et de HC sont faibles. Nous en voulons pour preuve que quelque 45% des valeurs annuelles se situent dans la classe inférieure, de 0 à 100 kg/ha et que 70% environ ne dépassent pas 300 kg/ha. De même, les valeurs supérieures à une tonne par année sont déjà rares. Voilà pour les similitudes.

Dans le détail, les histogrammes des trois polluants présentent des traits distinctifs très caractéristiques.

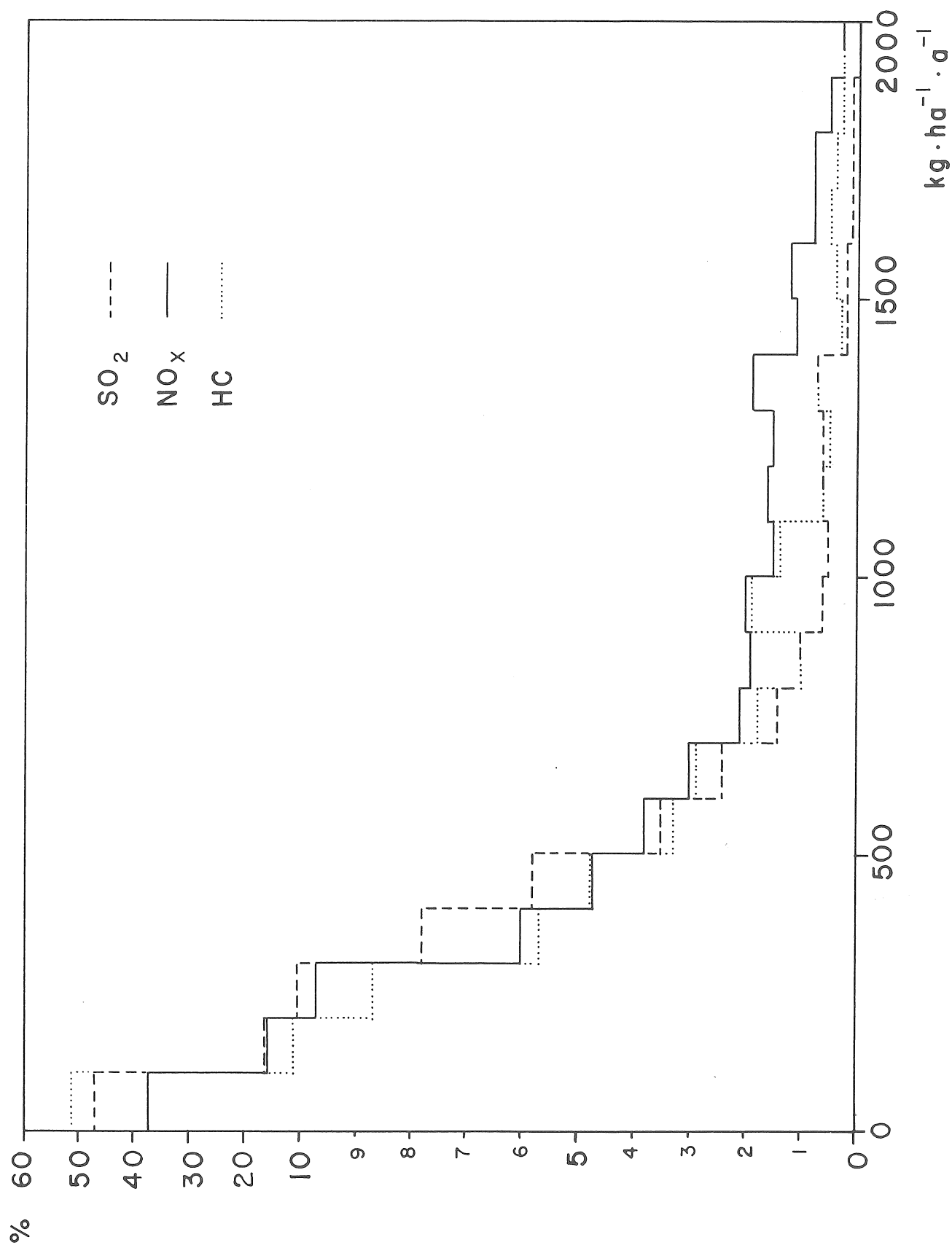
Penchons-nous tout d'abord vers le bas de l'échelle:

51% des valeurs de HC et 47% des valeurs de SO₂ se situent dans la classe inférieure, contre 37% seulement des valeurs de NO_x. De même, 93% des valeurs de HC et 97% des valeurs de SO₂ ne dépassent pas une tonne, alors que ce pourcentage n'est que de 86% pour les NO_x.

Portons maintenant notre regard vers le haut de l'échelle: nous constatons que 53 valeurs annuelles de NO_x sont supérieures à 2000 kg/ha, contre 23 valeurs de HC et 8 valeurs de SO₂. De manière générale le nombre de valeurs supérieures à 500 kg/ha est nettement plus élevé pour les NO_x que pour les autres polluants. Ce comportement caractéristique est l'expression des fortes émissions de NO_x sur les grands axes de trafic à circulation fluide.

La concentration des valeurs d'émission annuelle de SO₂ dans les classes inférieures est caractéristique du chauffage domestique et industriel, qui en demeure la principale source: le volume bâti par hectare et la consommation d'énergie de chauffage qui en découle sont soumis à des limites physiques bien précises auxquelles viennent s'ajouter des prescriptions légales restrictives, en Suisse tout particulièrement.

Figure 13: Histogrammes des valeurs d'émission hectométriques



La fréquence des valeurs d'émission annuelle de HC supérieures à 500 kg/ha, sans atteindre l'ampleur de celle des valeurs de NO_x , n'en demeure pas moins importante, notamment dans les classes "900 - 1000 kg/ha" et "1000 - 1100 kg/ha". Ce groupe de valeurs peut avoir deux origines: des processus industriels, notamment ceux de peinture, ou des axes de trafic importants à circulation lente.

En définitive, avant même que l'on envisage la géographie de l'émission et la répartition des émetteurs, les valeurs d'émission hectométriques nous livrent des indications très utiles quant aux groupes de sources.

4.2 Géographie de l'émission

Les figures 14 à 19 donnent une image précise de la répartition géographique des émissions. L'émission de chaque polluant est caractérisée par une paire de cartes: la première présente la répartition des émissions hectométriques, la seconde indique, pour des surfaces de 25 hectares, (500 x 500 m ou un quart de km^2) la part des groupes de sources, en analogie avec la figure 12. Un transparent facilite la lecture des cartes (intérieur du dos de couverture).

4.2.1 Anhydride sulfureux SO_2

Les figures 14 et 15 représentent l'émission annuelle d'anhydride sulfureux. La géographie de ce polluant est caractérisée par une densité spatiale très élevée à l'intérieur de l'espace bâti et par une grande homogénéité des valeurs sur des surfaces assez importantes. Ces deux traits expriment clairement que le chauffage est le principal émetteur de SO_2 : les bâtiments sont en principe confinés à l'espace bâti de l'agglomération et les quartiers sont en général assez uniformes.

La plus forte émission annuelle de SO_2 se trouve logiquement au centre-ville (plus de 800 kg/ha), dans un périmètre de 1,5 sur 0,5 km environ, entre le haut de la vieille ville et la gare CFF.

Les cartes font également ressortir un certain nombre d'autres zones où l'émission de SO_2 , assez élevée (plus de 400 kg/ha), provient essentiellement du chauffage domestique:

- au sud de la ville, sur la rive nord de la Thielle, ainsi qu'un peu plus à l'est;

- au nord-est de la ville, à la sortie du Taubenloch (quartier de Boujean);
- à l'est de la ville, dans le quartier de Mâche (au sud du coude de la Suze);
- au nord-est du centre-ville ainsi qu'à l'ouest de celui-ci;
- dans la commune de Brügg, au sud-est de l'agglomération.

La station d'incinération des déchets urbains, au sud de la ville, demeure, jusqu'à son assainissement prochain, le principal émetteur industriel de SO_2 . Mis à part cette source majeure, l'émission industrielle d'anhydride sulfureux est assez éparpillée, la figure 15 montrant néanmoins quelques zones de concentration:

- à la sortie des Gorges du Taubenloch;
- le long de la Suze à l'est du centre-ville;
- au Champ de Boujean, à l'extrémité NE de la ville.

La distinction entre l'émission au chauffage et celle provenant des processus est abordée au chapitre 4.3.3.

L'émission de SO_2 due au trafic reste très modeste, tant dans les localités que sur les axes à l'extérieur de ces dernières, où elle est même si faible qu'elle disparaît complètement dans la représentation au quart de kilomètre carré (figure 15).

4.2.2 Oxydes d'azote NO_x

La géographie des oxydes d'azote est très différente de celle de l'anhydride sulfureux: l'émission est caractérisée par une structure spatiale tentaculaire (figure 16) qui reflète la prépondérance du trafic routier (figure 17). La densité spatiale élevée de l'émission, particulièrement au centre de l'agglomération, traduit tant les chauffages que les dessertes de quartier.

Comme l'émission spécifique de NO_x des véhicules est plus élevée à haute vitesse (cf. 3.2.3), il est naturel de retrouver les maxima d'émission sur les grands axes routiers en dehors des localités.

L'émission annuelle est la plus élevée (plus de 1600 kg/ha) sur le tronçon de semi-autoroute reliant Bienne à Lyss et Berne par Brügg, Aegerten et Studen (axe partant vers le SE). Elle est également forte (plus de 800 kg/ha) le long des axes routiers suivants:

Figure 14: Anhydride sulfureux: carte hectométrique

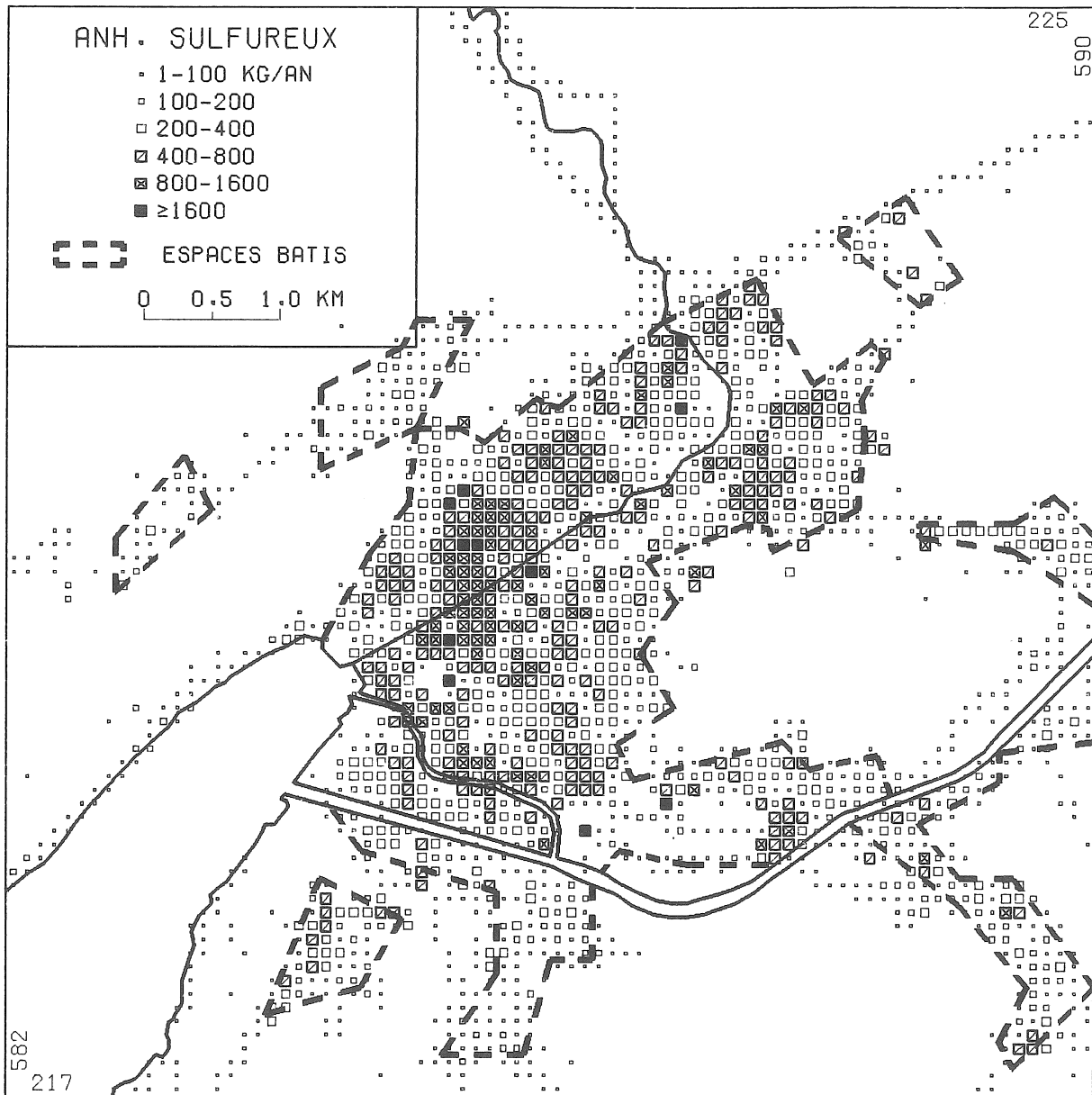


Figure 15: Anhydride sulfureux: géographie des groupes de sources

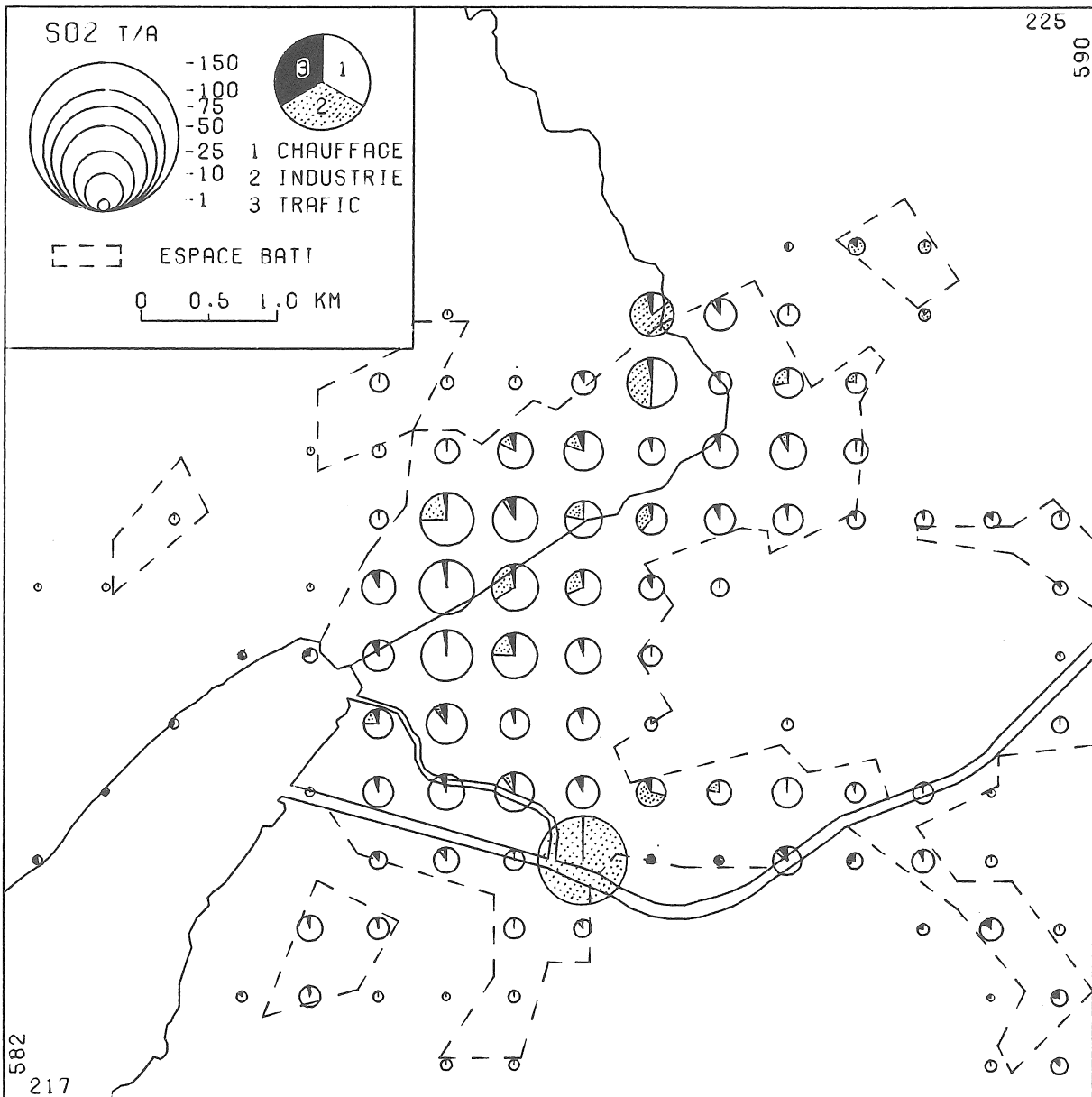


Figure 16: Oxydes d'azote: carte hectométrique

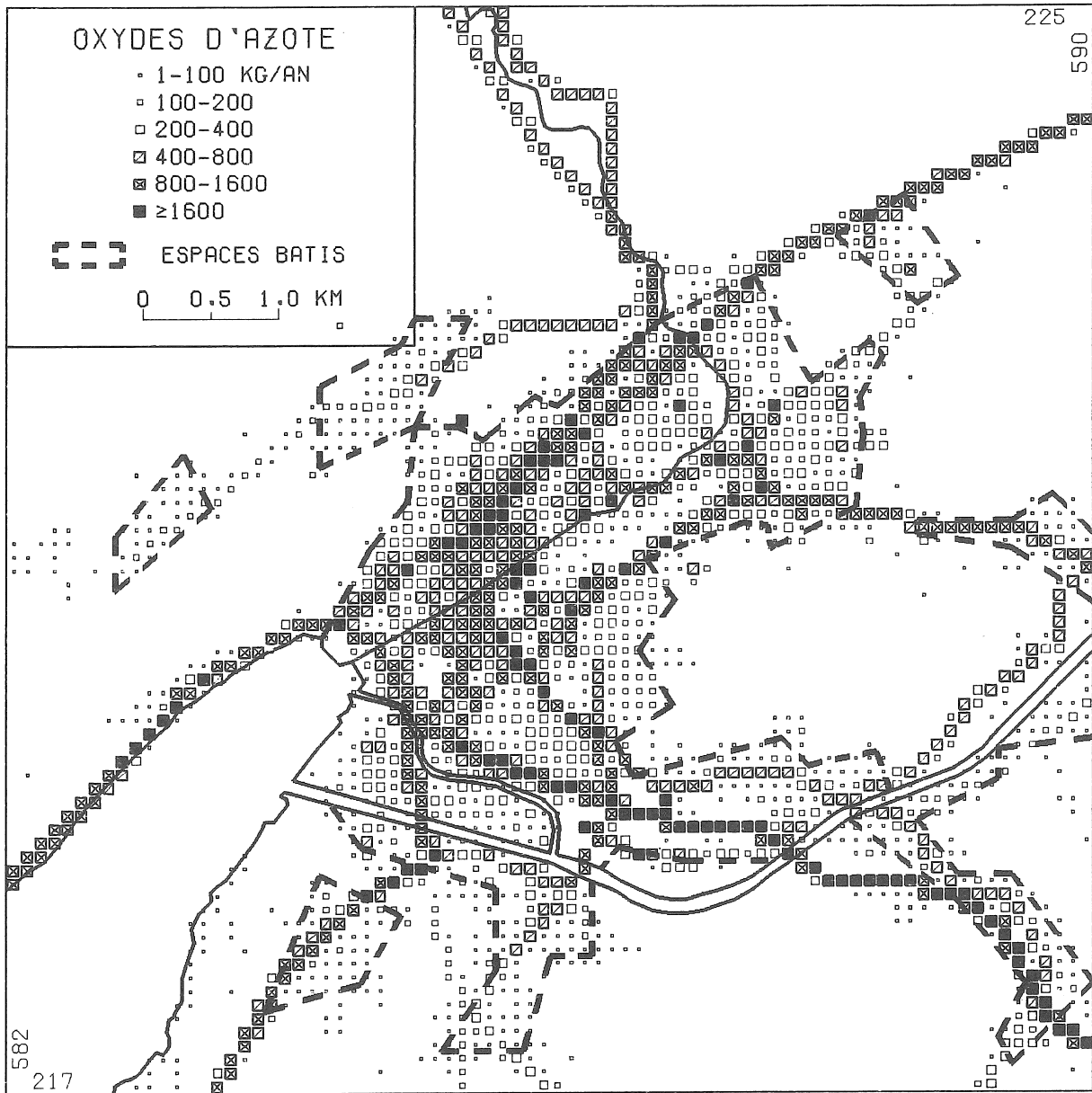
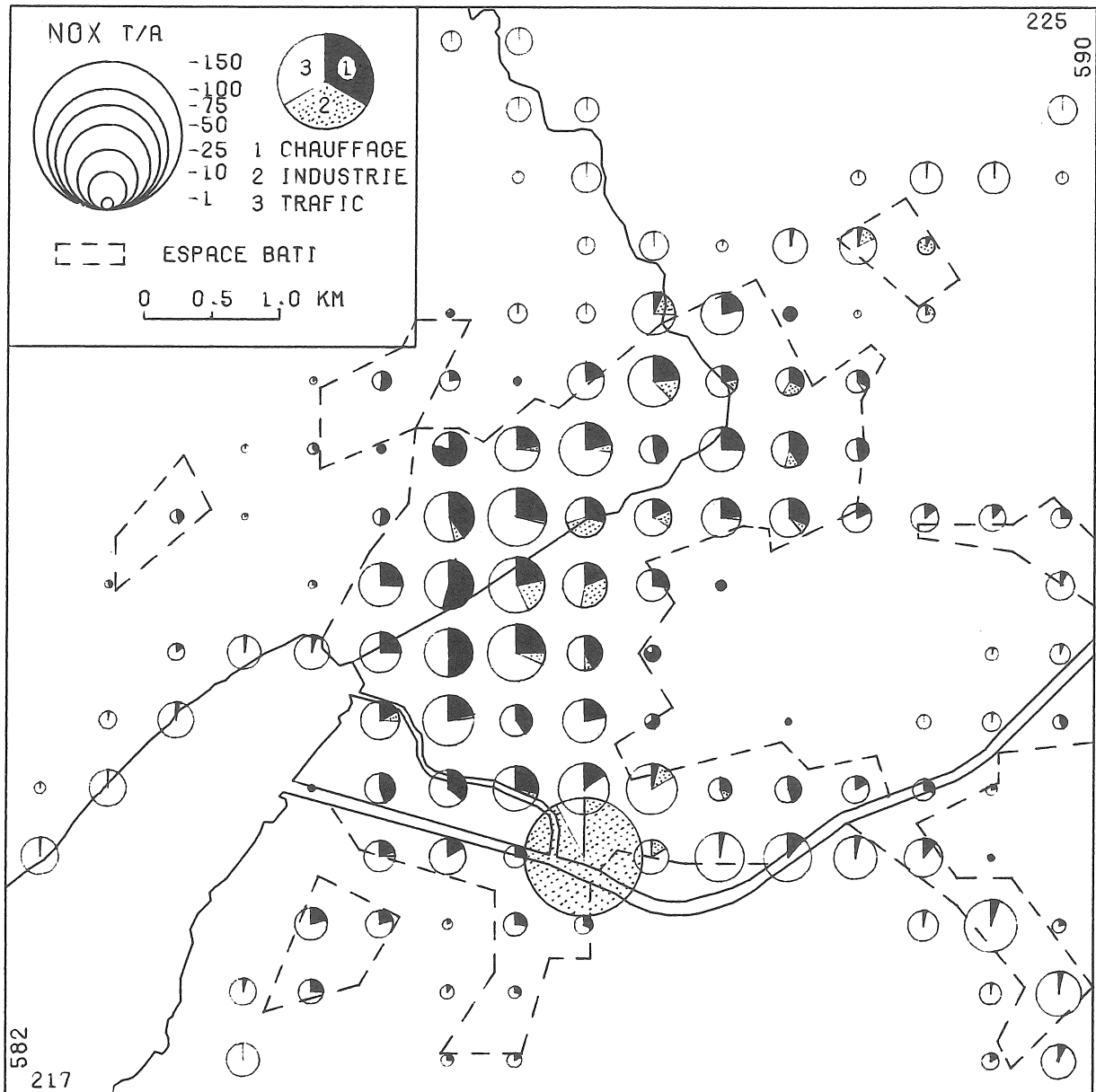


Figure 17: Oxydes d'azote: géographie des groupes de source



- l'axe SW - NE, le long de la rive nord du lac de Biemme et du pied sud du Jura (Neuchâtel - Biemme - Soleure);
- l'axe de la rive sud du lac, par Nidau et Ipsach vers Täuffelen et Anet (Ins);
- quelques axes de connexion à l'intérieur de l'agglomération: route de Mâche et route de Madretsch (entre Mâche et Madretsch) et route de Brügg (de Madretsch vers l'autoroute et Port), par exemple;
- l'axe vers l'est par le quartier de Mâche vers Orpond;
- l'axe des gorges du Taubenloch et de Reuchenette, vers le nord.

L'émission de ce dernier axe paraît plus faible car les deux sens de circulation y sont séparés. Comme le montre la figure 9, quelques sections de cet axe sont en tunnel. Pour être tout à fait exact, il aurait fallu représenter l'émission de ces sections sous forme de sources ponctuelles aux entrées des tunnels ou sur les cheminées d'aération. Cette remarque n'affecte toutefois que les représentations à l'hectare (figures 14, 16 et 18).

Au centre-ville, l'émission très élevée provient tant du trafic routier que du chauffage, qui y fait environ 50% de l'émission. Dans le reste de la commune de Biemme et dans celle de Nidau, la part du chauffage est d'environ 25%.

Les émissions industrielles de NO_x présentent dans l'ensemble une image similaire à celles de SO_2 . Comme celles-ci, elles proviennent soit du chauffage des bâtiments industriels, soit de processus nécessitant de la chaleur, tels qu'on peut les trouver dans des fonderies, par exemple, ou d'autres processus de traitement des métaux (cf. table 5). Ces processus, souvent assez lourds, se trouvent plus volontiers dans des entreprises d'assez grande taille, comme à la sortie des Gorges du Taubenloch ou immédiatement à l'est du centre-ville.

4.2.3 Hydrocarbures HC

Tout comme celle des oxydes d'azote, la répartition spatiale des émissions d'hydrocarbures présente une structure tentaculaire (figure 18) qui tient aux émissions importantes en provenance du trafic routier (figure 19, cf. 4.1.1). En fait, ce groupe de sources dessine quasiment à lui seul la géographie de ce polluant. Contrairement à celle des NO_x , l'émission de HC demeure en revanche très faible en dehors du réseau routier principal. Autre différence, l'émission de HC est nettement plus élevée sur les artères principales à l'intérieur de l'agglomération que sur les axes de transit à l'extérieur. Cette différence tient au fait que l'émission de HC croît à mesure que la vitesse commerciale du trafic décroît (cf. 3.2.3).

Précisons quelque peu cette image. L'émission maximale provenant du trafic routier (plus de 1600 kg/ha) se concentre sur les passages et les carrefours névralgiques suivants:

- axe SW - NE au centre-ville, y compris l'embranchement vers le Jura (Pont du Moulin, Rue du Canal, Rue Georg Friedrich Heilmann, Rue Adam Göuffi, Faubourg du Jura);
- axe nord-sud à l'ouest de la ville (Route d'Aarberg, Place Guido Müller) avec bifurcation vers Lyss et Berne (début de la Route de Berne) et bifurcation vers la rive sud du lac (Hauptstrasse à Nidau);
- axe nord-sud au centre de la ville (Rue Centrale de la Place Centrale à la Place de la Croix, Place de la Croix, Route de Brügg jusqu'au sous-voie);
- carrefour entre la Rue du Marché-Neuf, la Rue du Contrôle et la Rue Alexandre Schöni, au SE du centre-ville;
- centre de Mâche, à l'est de la ville (Route de Mâche, Place d'Orpond, Route d'Orpond).

Les autres valeurs de plus de 1600 kg/ha (figure 18) sont dues soit au cumul des groupes de sources soit à l'industrie, notamment au Champ de Boujean, au NE de la ville et au Champ de Brügg, au nord du Canal de Nidau-Büren, la station d'incinération des déchets urbains étant devenue le principal émetteur industriel de HC depuis l'assainissement susmentionné d'une autre entreprise (cf. 4.1.1).

L'émission est encore très élevée (800 à 1600 kg/ha) sur les artères de trafic à l'intérieur des localités, en particulier dans le prolongement des axes décrits ci-dessus. Il convient de relever l'émission importante sur la rive sud du lac, jusqu'à la sortie d'Ipsach. En dehors des localités, l'émission de HC due au trafic décroît rapidement sur tous les axes.

L'émission d'hydrocarbures due au chauffage domestique reste de manière assez uniforme proportionnellement faible, même dans les quartiers typiquement résidentiels et au centre-ville, où elle ne dépasse que difficilement 20% (figure 19).

Exception faite de la station d'incinération des déchets urbains, l'émission industrielle de HC se concentre dans les deux zones industrielles modernes du Champ de Brügg et du Champ de Boujean. Sinon, elle est répartie de manière assez éparse dans toute l'agglomération. Comme nous le verrons plus en détail au chapitre 4.3.3, cette géographie différente de celle des deux autres polluants provient des processus.

Figure 18: Hydrocarbures: carte hectométrique

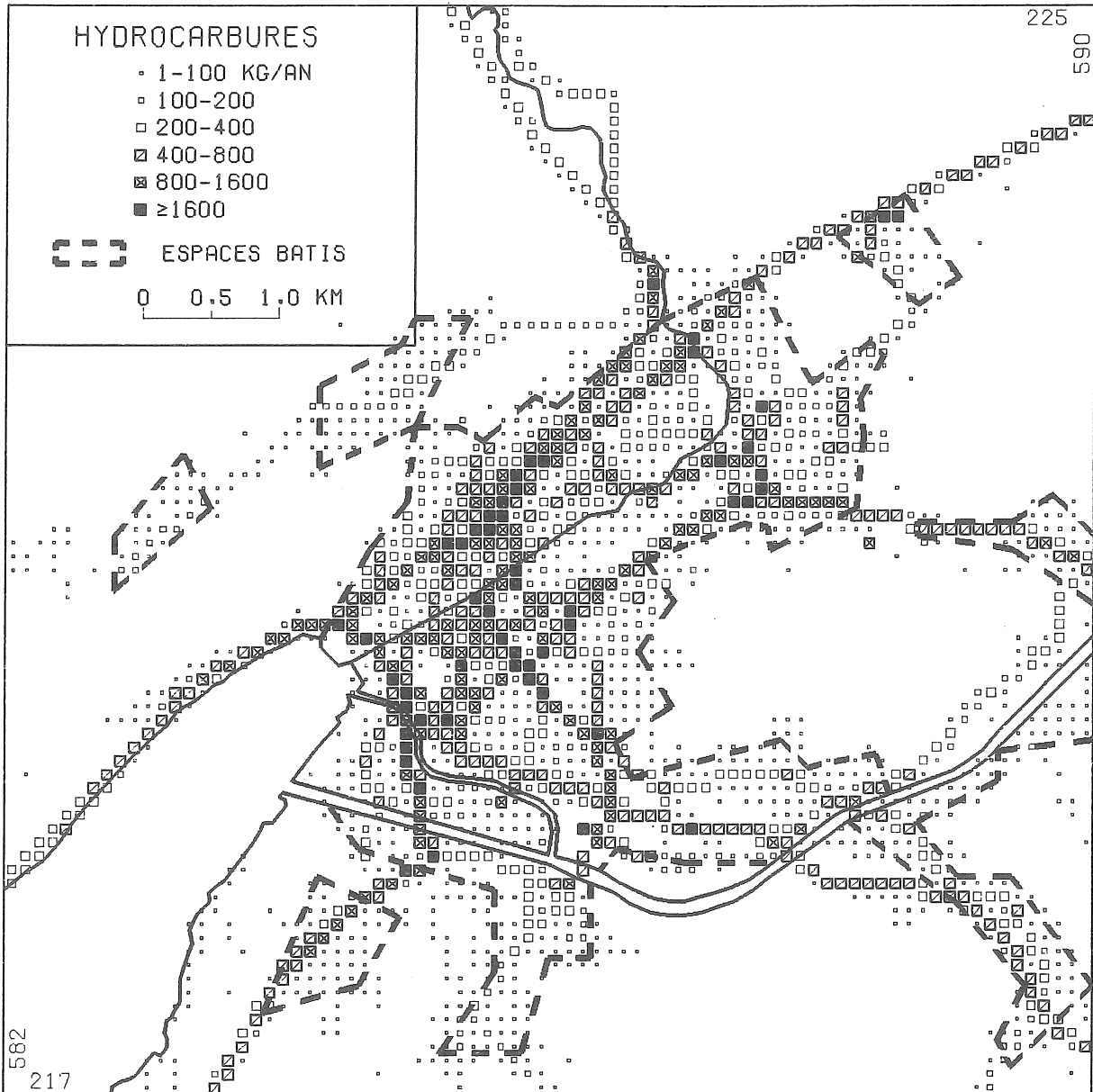
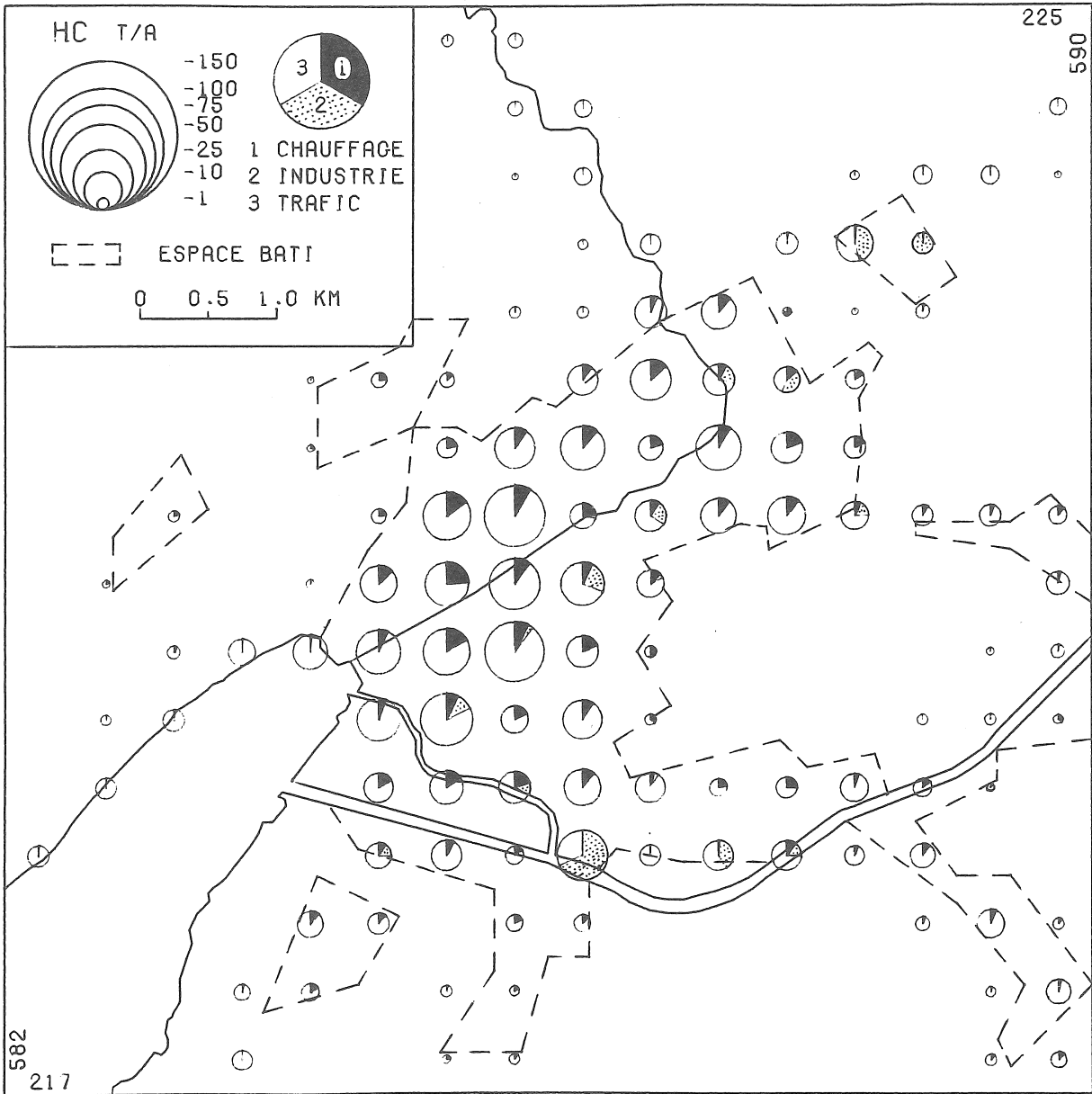


Figure 19: Hydrocarbures: géographie des groupes de sources



L'origine industrielle d'un bon nombre de valeurs hectométriques supérieures à 900 kg de HC par an, supposée au chapitre 4.1.2, se trouve clairement confirmée par la figure 19: l'émission industrielle de HC, qui ne fait que 6,7% de l'émission globale de ce polluant, y ressort bien plus nettement que les 9,8% émanant du chauffage.

4.3 Spécificités des groupes de sources

Après avoir cerné la géographie des émissions et celle des groupes de sources, nous aimerions donner une vision plus précise de ces derniers et chercher à mieux comprendre le comportement de leurs émissions. Pour ce faire, nous utilisons des cartes représentant l'émission au quart de kilomètre carré (figures 20 à 22). Nous avons choisi, pour chaque groupe de sources, un trait particulièrement caractéristique.

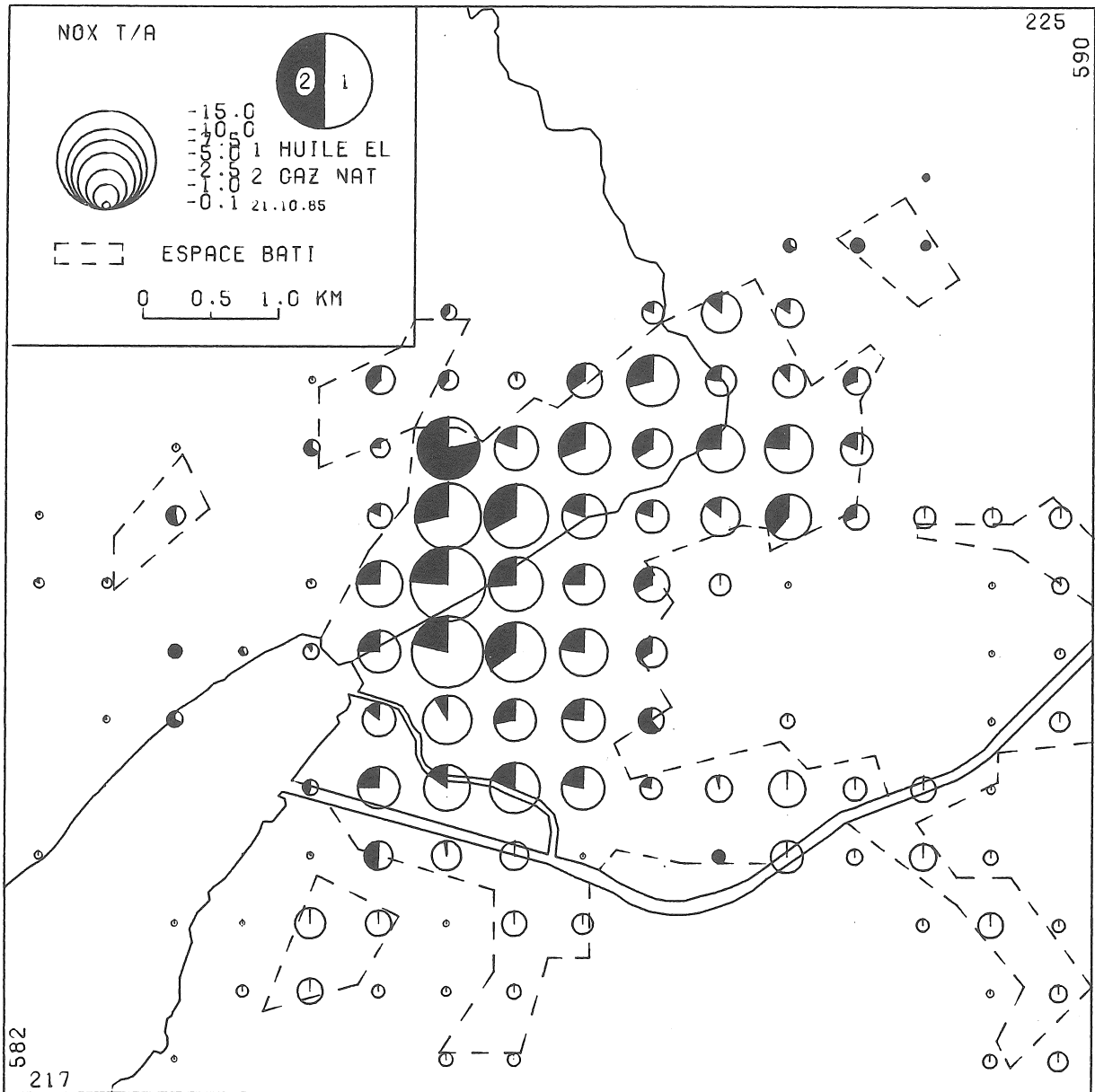
4.3.1 Chauffage à l'huile et chauffage au gaz

Au chapitre 3.2.2, nous avons admis deux combustibles pour le chauffage domestique: l'huile extra-légère et le gaz naturel. Il paraît intéressant de comparer le comportement de ces deux combustibles qui se trouvent en forte concurrence sur le marché de l'énergie. Les oxydes d'azote permettent une comparaison assez équitable car les facteurs d'émission NO_x des deux combustibles, sans être identiques, n'en sont pas moins très voisins: 40 kg/TJ pour l'huile extra-légère et 45 kg/TJ pour le gaz naturel (cf. 3.2.3). La figure 20 illustre la répartition spatiale et la proportion des émissions de ces deux combustibles. Vu la similitude des facteurs d'émission, la proportion des émissions correspond plus ou moins à celle des installations de chauffage.

La figure 20 montre que l'agglomération biennoise dispose d'un réseau de distribution de gaz naturel remarquablement dense qui s'étend aux communes de Bienne, Nidau, Brügg et Evilard (y compris Macolin). La part des émissions dues au chauffage à gaz se situe dans l'ensemble autour de 20%, mais elle est sensiblement plus élevée dans les quartiers qui ont connu une phase de construction très active dans les dernières années, comme par exemple:

- Macolin et Evilard, sur le flanc sud du Jura;
- le quartier du Bünden, immédiatement au sud du canal de Nidau-Büren (commune de Nidau);
- le quartier du Tilleul, à l'est de Madretsch;
- le quartier du Battenberg, au sud de Mâche.

Figure 20: Chauffage à huile et chauffage à gaz: oxydes d'azote



Enfin, il faut relever les quelque 75% d'émissions provenant du chauffage à gaz dans le quartier de Beaumont, au nord du centre-ville: l'Hôpital régional, qui utilise fort heureusement essentiellement du gaz naturel, en est la cause principale.

Il convient également de relever que de très nombreuses écoles ont été converties au gaz naturel ces dernières années. Enfin l'émission généralement très faible au nord de Port tient au réseau, encore modeste, de chauffage à distance à partir de la station d'incinération des déchets urbains.

En guise de conclusion, on peut se demander si le gaz naturel est un combustible plus "propre" que l'huile extra-légère et s'il est par conséquent opportun de le propager? Si le gaz naturel n'apporte pas (ou peu, suivant le facteur d'émission adopté) d'avantages notoires au niveau des oxydes d'azote, l'importance du réseau de distribution de gaz de l'agglomération biennoise a un effet très bénéfique sur le bilan des émissions d'anhydride sulfureux (environ 15% ou 75 tonnes par an).

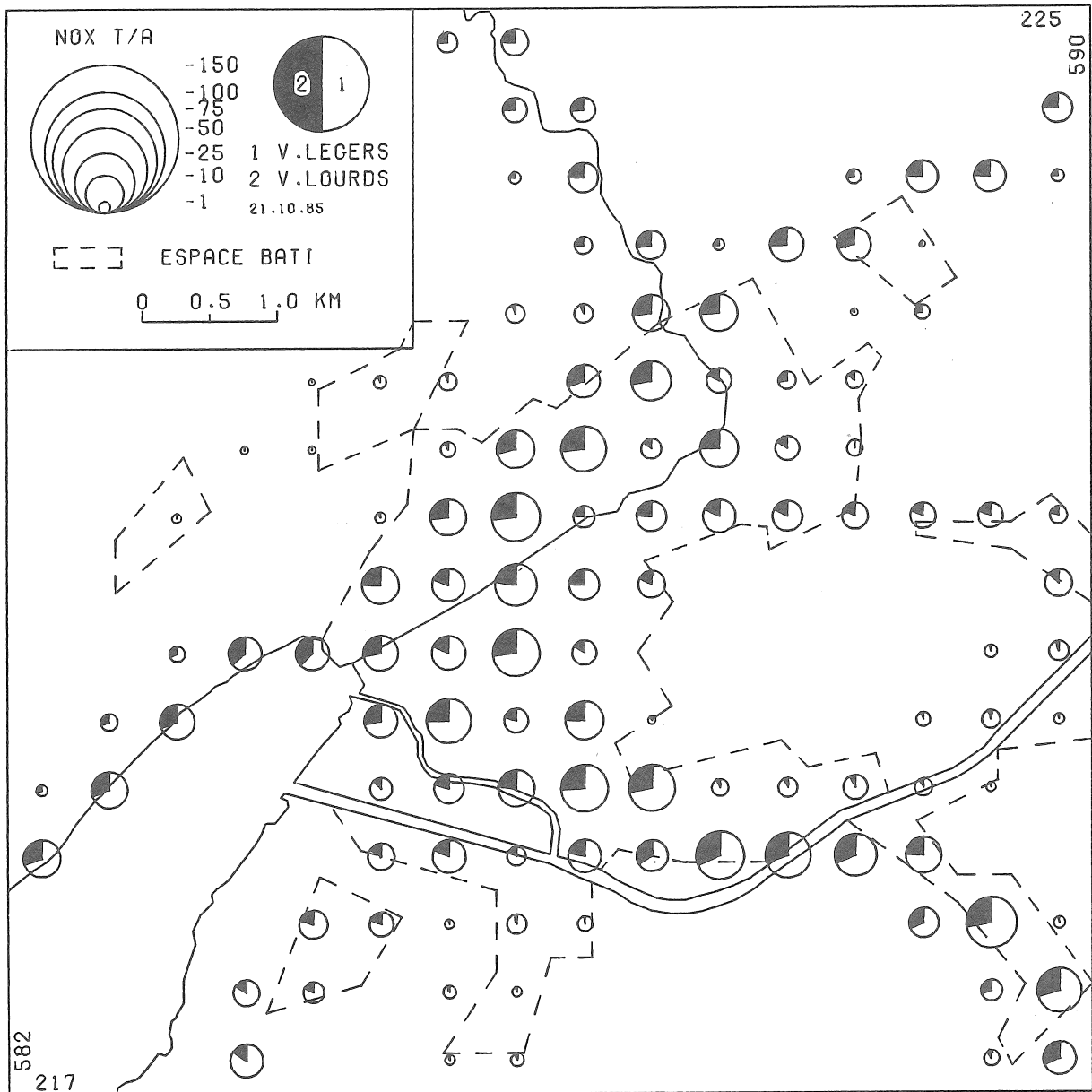
4.3.2 Trafic léger et trafic lourd

Jusqu'à présent, les mesures techniques destinées à réduire les émissions en provenance des véhicules routiers ont touché avant tout les véhicules légers. C'est pourquoi il n'est pas inopportun d'examiner d'un peu plus près la part de l'émission du trafic provenant des véhicules lourds. Pour ce faire nous avons retenu le polluant qui devrait présenter la proportion la plus faible d'émissions en provenance du trafic lourd, les oxydes d'azote. Comme nous l'avons signalé au chapitre 4.1.1, les véhicules lourds provoquent la majeure partie de l'émission de SO₂ due au trafic. Les émissions spécifiques (table 4) laissent supposer qu'il joue également un rôle important au niveau des hydrocarbures.

La figure 21 montre que les véhicules lourds, qui ne représentent que 3 à 7% de la charge de trafic dans notre modèle (cf. 3.4), engendrent, pour l'ensemble de la région, environ 25% de l'émission d'oxydes d'azote.

La part du trafic lourd est particulièrement élevée sur les artères principales au centre de la ville et plus encore sur les grands axes à l'extérieur, notamment sur la rive nord du lac et sur la semi-autoroute Bienne-Lyss ainsi que sur la T6 dans les Gorges du Taubenloch et dans celles de Reuchenette. Inversement, la part du trafic lourd à l'émission est nettement plus faible sur les axes du trafic pendulaire de personnes tels que celui de Bienne à Evilard et Macolin, celui de la rive sud du lac ou celui de Mâche vers Orpond, de même que sur la

Figure 21: Trafic léger et trafic lourd: oxydes d'azote



liaison entre Orpond et Brügg. Enfin l'émission due au trafic lourd est presque insignifiante dans les quartiers ou les localités essentiellement résidentiels (Beaumont, Port, Evilard, Macolin).

En définitive, la carte des émissions d'oxydes d'azote dues au trafic dans l'agglomération biennoise tend à prouver qu'on ne saurait prêter assez d'attention aux émissions des véhicules lourds.

4.3.3 Processus industriels et chauffage des entreprises

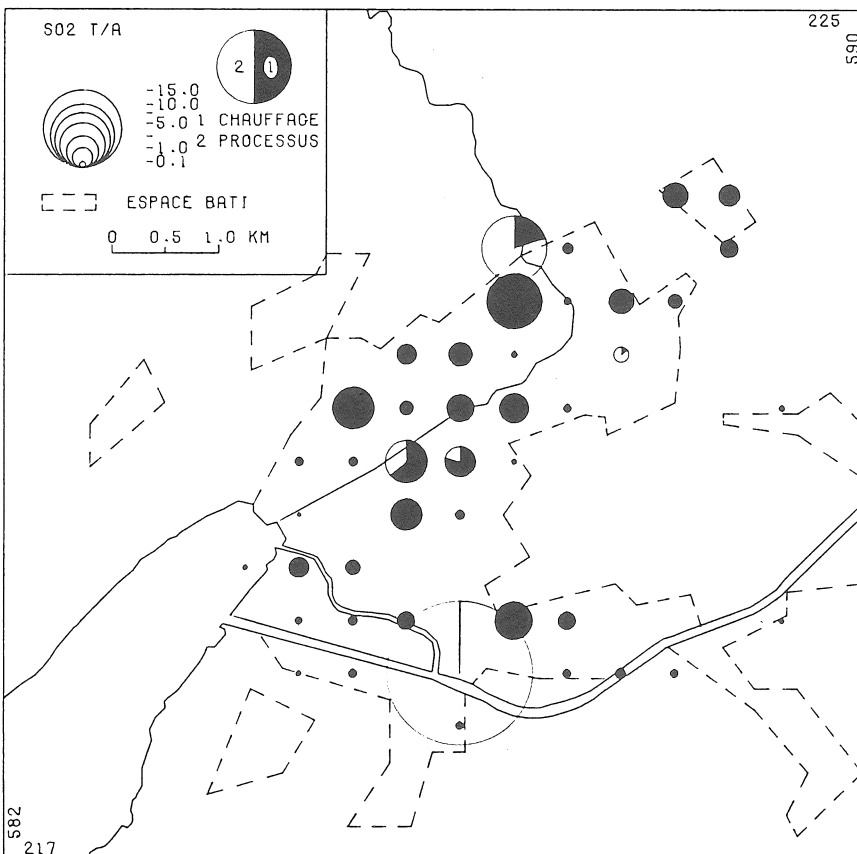
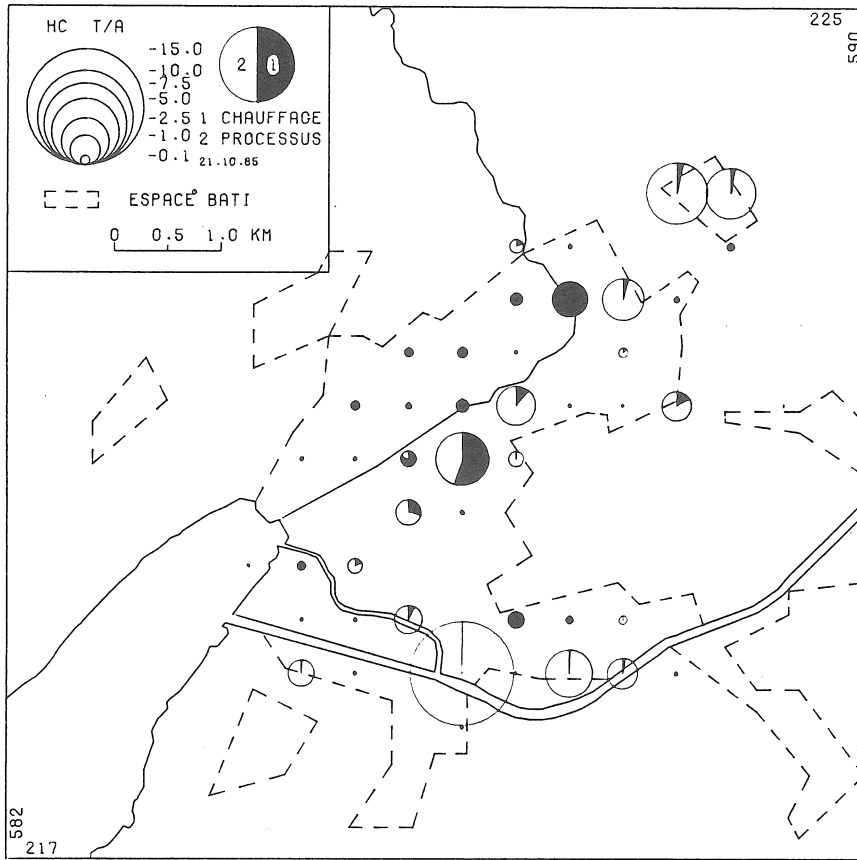
Les résultats ci-dessus n'ont fait que confirmer ce que laissait supposer la répartition des secteurs industriels de la région biennoise (cf. table 15): les processus industriels n'y sont pas la source majeure de pollution. Il paraît néanmoins intéressant de comparer l'émission des processus industriels et celle provenant du chauffage des entreprises pour deux polluants, l'anhydride sulfureux et les hydrocarbures. Le premier est intéressant pour la comparaison avec d'autres régions industrielles, telle que Wetzlar, où l'émission de SO₂ due aux processus est importante (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 91). Quant au second, son importance au niveau des processus industriels semble croître à mesure que nos connaissances à son sujet s'étendent. La figure 22 présente la géographie des émissions industrielles pour ces deux polluants.

Les émissions industrielles d'anhydride sulfureux sont très disséminées sur toute l'agglomération biennoise, car elles proviennent à quelques exceptions près du chauffage des entreprises.

Seuls des processus thermiques ou d'autres processus nécessitant de la chaleur engendrent une émission de SO₂. A part la station d'incinération des déchets urbains, qui demeurera une source très importante de SO₂ jusqu'à son assainissement, seules des entreprises de traitement des métaux produisent une émission de SO₂. Parmi celles-ci, l'une a effectué un vaste programme d'assainissement au cours duquel le gaz naturel a remplacé l'huile lourde pour la production de chaleur dans la mesure où les techniques de fabrication le permettaient.

En deux points, au nord du centre-ville et à l'est de l'agglomération, l'émission de SO₂ due au chauffage est très élevée. Dans ces secteurs, on trouve des entreprises qui utilisent de l'huile lourde (facteur d'émission: 735 kg/TJ).

Figure 22: Processus industriels et chauffage des entreprises



La géographie des émissions industrielles d'hydrocarbures diffère de celle de l'anhydride sulfureux tant au niveau de la répartition spatiale qu'à celui de la proportion de processus industriels.

Quelque 85% de l'émission industrielle de HC proviennent des processus. Il s'agit essentiellement de processus de peinture, car les solvants organiques sont émis par évaporation, ainsi que d'autres processus, tels que le décapage ou le rinçage de pièces, qui engendrent également une évaporation d'hydrocarbures (cf. tables 2 et 5). Il convient de rappeler que la figure 22 résulte d'une évaluation très prudente des émissions dues aux processus industriels. Faute d'indications fiables, les émissions probables émanant de la galvanoplastie - très répandue dans la région - n'ont par exemple pas pu être quantifiées (cf. 3.2.3, 4.1.1, 6.1.3).

Au niveau de la répartition spatiale, les plus fortes émissions de HC résultant des processus se trouvent, abstraction faite de la station d'incinération des déchets urbains, dans les deux zones industrielles modernes du Champ de Brügg (séchage offset et peinture) et du Champ de Boujean (peinture). Les émissions assez importantes à l'est de la ville, au long de la Suze et dans le quartier de Madretsch proviennent de processus de peinture. Les autres émissions dues aux processus sont très disséminées.

Les émissions assez élevées de HC provenant du chauffage des entreprises, dans le quartier de Madretsch et au nord du coude de la Suze, tiennent à l'utilisation de copeaux de bois comme combustibles. L'émission de HC est faible pour les autres combustibles.

En définitive, l'anhydride sulfureux, polluant typique de l'industrie dans bien des régions, ne permet pas de qualifier l'émission des processus industriels dans notre cas. C'est bien les hydrocarbures qui sont le traceur de l'émission industrielle dans l'agglomération biennoise.

4.4 Fluctuations temporelles de l'émission

Comme l'a montré le chapitre 3.6, les émissions ne sont pas réparties uniformément sur les jours de l'année, mais elles subissent des variations importantes, tant au niveau des quantités émises qu'à celui de la part des groupes de sources. Dans le cadre du projet "Climat et hygiène de l'air de la région biennoise", la question des variations temporelles de l'émission est des plus intéressantes pour la comparaison avec les conditions climatiques; pour les modèles de dispersion, elle est même cruciale.

Traiter des variations temporelles de manière exhaustive, en présentant par exemple l'émission mensuelle pour les douze mois de l'année, serait plutôt fastidieux. C'est pourquoi ce chapitre se limite à quelques exemples qui donnent une image contrastée. Comme ils caractérisent le mieux les trois groupes de sources, les oxydes d'azote ont été retenus pour ce volet de l'étude. Les figures 23 à 26 présentent les résultats.

4.4.1 Emission mensuelle moyenne en janvier et en juin

Pour la caractérisation des émissions mensuelles, le choix s'est porté sur les mois de janvier et juin en fonction des courbes de variation de l'émission (cf. figure 11). En effet, janvier présente le plus haut nombre de degrés-jours (658) et le minimum de trafic, tandis que juin présente le maximum de trafic et seulement 37 degrés-jours (SIA 381/3 1982: 10). Juillet et août, qui présentent encore moins de degrés-jours, n'ont pas été retenus, à cause des vacances horlogères. Il en est de même pour décembre, suite à la pause de Noël.

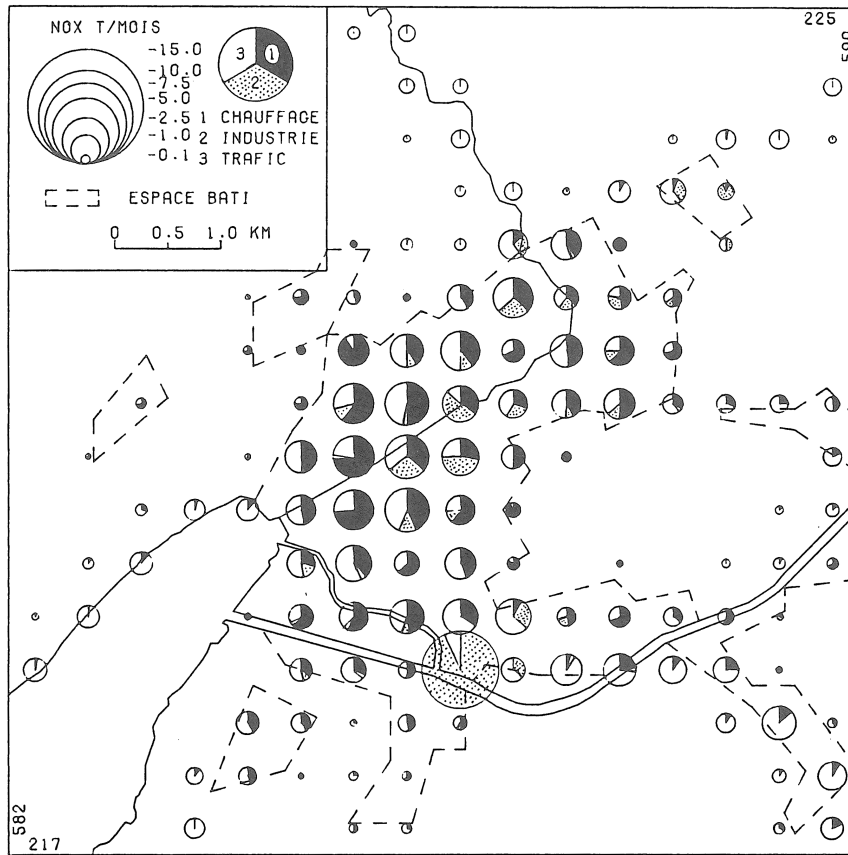
Sur l'ensemble de la région, les quantités d'oxydes d'azote émises sont très semblables en janvier ou en juin; par contre, leur origine est radicalement différente, comme en témoignent également les différences au niveau de la répartition spatiale (figure 23).

En janvier, la part de chaque groupe de source est importante. Bien que le NO_x soit le traceur de l'automobile, la part du chauffage domestique est souvent égale et parfois, dans les quartiers résidentiels, supérieure à celle du trafic routier. Il est donc logique de trouver les plus fortes émissions au centre de l'agglomération. Suite au chauffage des entreprises, l'émission due à l'industrie est également importante. Le trafic prédomine sur les grands axes à l'extérieur des localités.

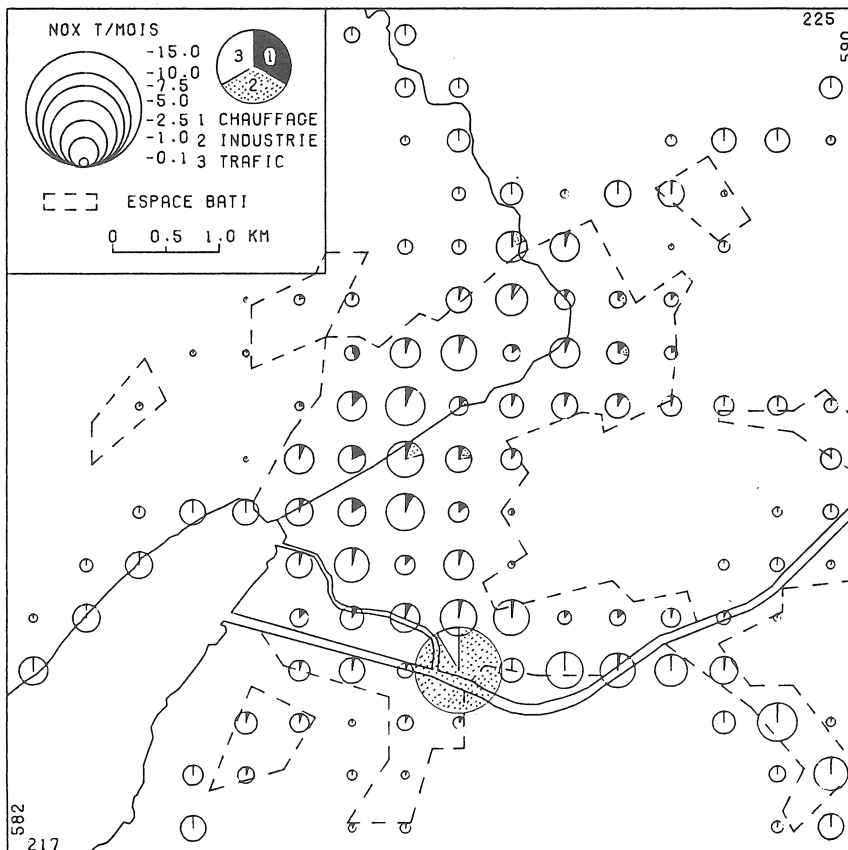
En juin, le trafic produit quasiment à lui seul une émission globale de NO_x semblable à celle de janvier. Sauf en un point, il prédomine sur l'ensemble de la région, de manière bien plus marquée encore qu'en moyenne annuelle (figure 17). L'émission de NO_x provenant du chauffage domestique se limite en fait à la préparation d'eau chaude, tandis que celle de l'industrie résulte de quelques procédés nécessitant de la chaleur. Il faut relever que l'émission de la station d'incinération des déchets urbains est nettement plus élevée qu'en janvier. Selon les informations aimablement fournies par cette entreprise, ce fait résulte de la cumulation des déchets de jardin et des déchets de ménage, plus importants en été.

Figure 23: Emission mensuelle moyenne en janvier et en juin

JANVIER



JUIN



L'émission mensuelle de NO_x des autres mois de l'année se situe grosso modo entre celles de ces deux mois extrêmes. Qu'en est-il des deux autres polluants?

L'émission de SO_2 , qui provient presque exclusivement des chauffages domestiques et industriels (cf. 4.1.1 et figure 15) sera très considérable durant la période froide, notamment en décembre, janvier et février, alors qu'elle se limite essentiellement au trafic lourd (cf. 4.3.2) et à la préparation d'eau chaude en été. La relation entre l'émission de juin et celle de janvier est d'environ 1:7!

L'émission de HC, qui provient avant tout du trafic routier, sera inversement plus élevée en été, mais, en fait, elle varie assez peu au cours de l'année, car les émissions dues aux chauffages domestiques et industriels compensent dans une large mesure la diminution du trafic en hiver. L'écart entre les mois de juin et de décembre n'est que de 15% environ. Même en juin, les émissions de HC restent en majeure partie inférieure à celles de NO_x , ce qui tend à confirmer la production de smog photochimique assez modeste établie par FILLIGER (1986: 130 -140). Les travaux de SCHUEPBACH (in prep.) permettront de vérifier le bien-fondé de cette constatation.

De manière générale, ces considérations sur l'émission mensuelle montrent que l'émission de NO_x et de HC est somme toute assez constante au cours de l'année alors que celle de SO_2 est clairement hivernale.

Il en va très différemment des groupes de sources, le trafic dominant la scène en été et le chauffage en hiver.

4.4.2 Emission journalière pour un mercredi de décembre

Pour ce qui est de l'émission journalière, le choix s'est arrêté à un mercredi de décembre pour plusieurs raisons:

- le mercredi peut être considéré comme un jour ouvrable moyen au niveau des trois groupes de sources;
- en décembre, la part des trois groupes de sources est assez équilibrée, notamment au niveau des NO_x (cf. 4.4.1);
- un mercredi de décembre (le 10 décembre 1980) est exceptionnellement bien documenté au niveau des mesures climatologiques (RICKLI R. 1982: 29-34; WANNER et al. 1982: 220) et a servi de base à des modélisations tant mathématiques (FILLIGER P. 1986: 102-113) que physiques; le 10 décembre 1980 était certes

légèrement plus froid (24,4 degrés-jours ou température moyenne journalière $-4,4^{\circ}$ C) que le jour moyen de décembre que nous simulons ici (20,4 degrés-jours ou $-0,4^{\circ}$ C), mais la comparaison garde toute sa valeur.

La carte de l'émission de NO_x pour un mercredi de décembre (figure 24) n'est pas sans rappeler celle de l'émission mensuelle en décembre ou janvier (figure 23) en ce qui concerne la part des trois groupes de sources et leur géographie: le chauffage domine au centre de l'agglomération et le trafic ailleurs. Toutefois on remarquera que, par rapport à la moyenne mensuelle, la part de l'émission due au trafic est sensiblement plus importante: si le volume global de trafic ne varie guère au cours de la semaine, celui du trafic lourd est nettement plus important en semaine que sur le week-end, notamment les mercredis et jeudis. Le rôle du trafic lourd à l'émission, signalé ci-dessus (4.3.2), ressort également ici. De même, la part de l'industrie est également plus importante qu'en moyenne mensuelle, car les chauffages des entreprises, principale source industrielle de NO_x à part quelques procédés importants, fonctionnent à charge plus élevée en semaine que le week-end. Une réflexion semblable s'applique aux émissions industrielles de HC, produites principalement en semaine (processus). Il faut toutefois rappeler, tant pour les NO_x que pour les HC, que certains processus ne sont pas interrompus en fin de semaine (incinération des déchets urbains, séchage offset, traitement de métaux).

4.4.3 Emission horaire moyenne pour un mercredi de décembre

La figure 25 présente quatre cartes de l'émission horaire de NO_x pour un mercredi de décembre. Elles permettent de représenter les variations de l'émission au cours de la journée. L'émission des autres heures peut aisément être déduite par comparaison ou par analogie.

L'émission, qui n'a cessé de diminuer depuis 19 h, est minimale pendant la seconde partie de la nuit, par exemple 2 h. à 3 h. Bien que la charge des installations de chauffage soit extrêmement réduite, le chauffage domine l'image de l'émission. La part des chauffages industriels est très faible. On remarque par contre quelques processus qui ne sont pas interrompus la nuit. L'émission due au trafic est quasiment nulle.

Dès 5 h, l'émission augmente rapidement: les chauffages sont progressivement enclenchés, les camions se mettent en route et, un peu plus tard, la masse de la population active se rend au travail. Cette évolution atteint son paroxysme entre 7 h. et 8 h., ou l'on trouve la plus forte émission de la journée, par effet cumulatif: la pointe de trafic matinale, de nature essentiellement pendu-

Figure 24: Emission moyenne pour un mercredi de décembre

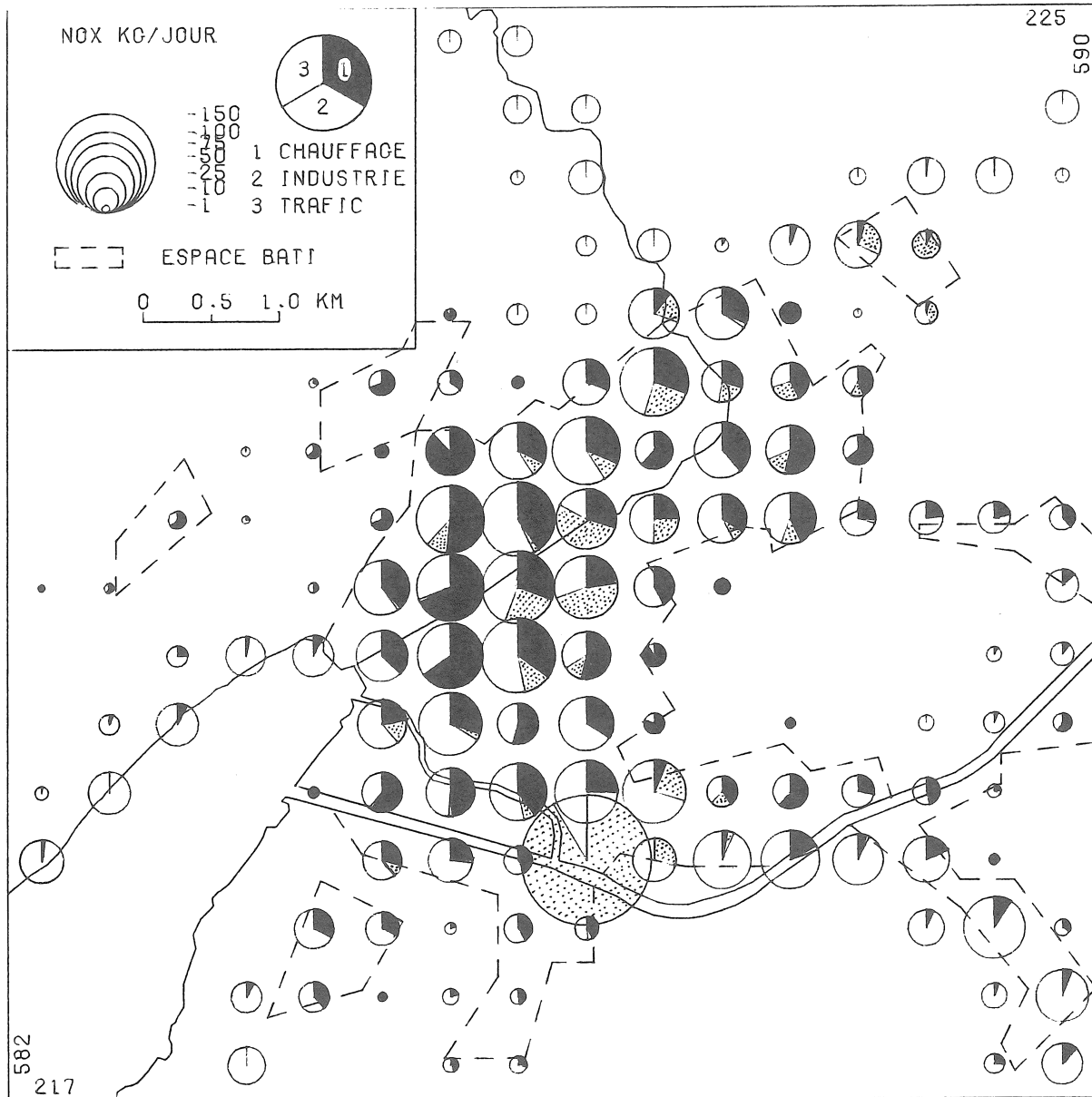
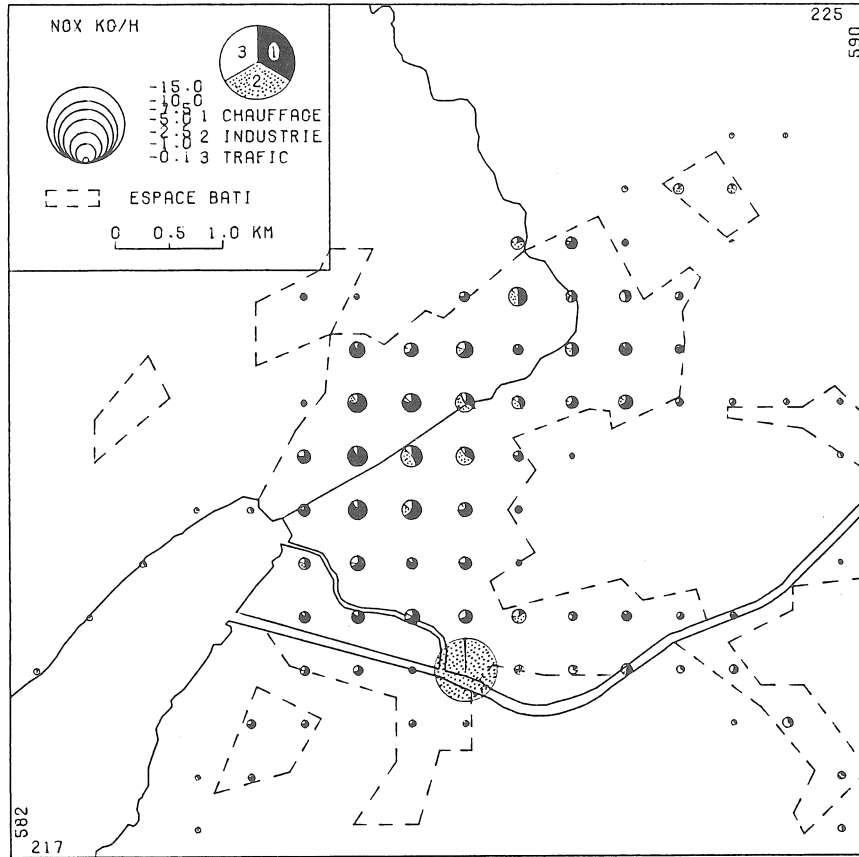
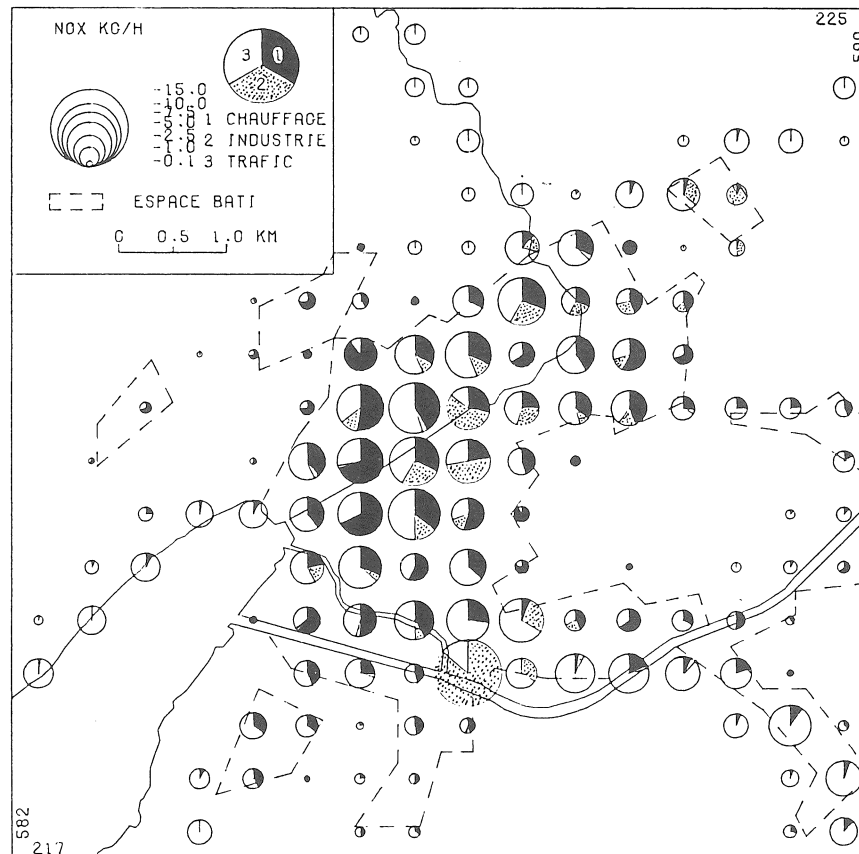


Figure 25: Variations horaires de l'émission pour un mercredi de décembre

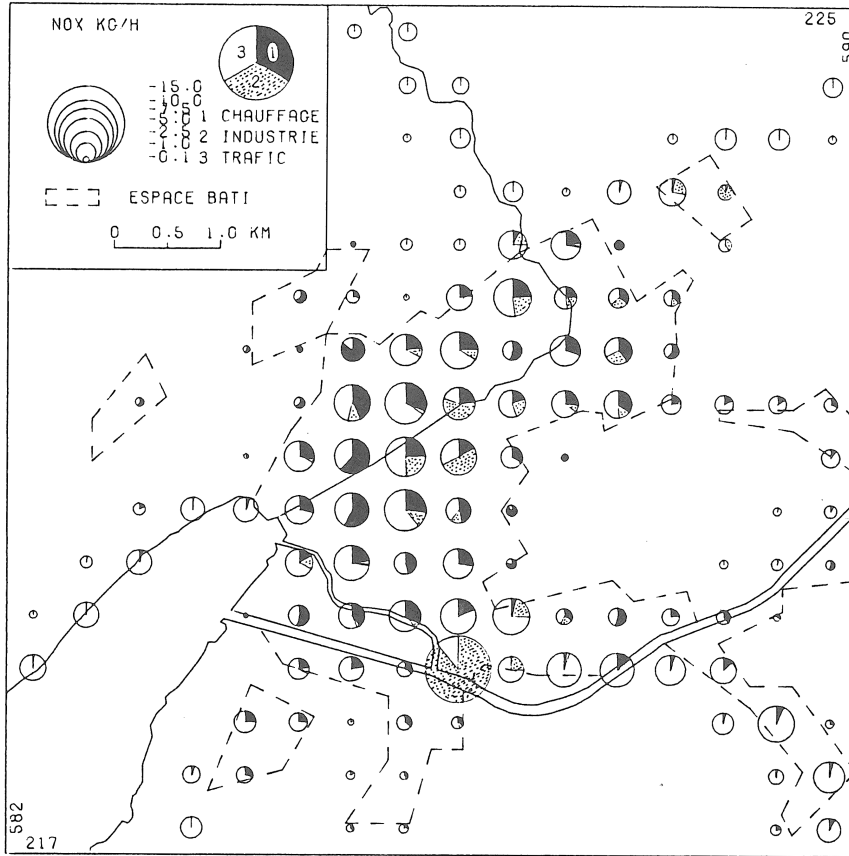
2-3 h



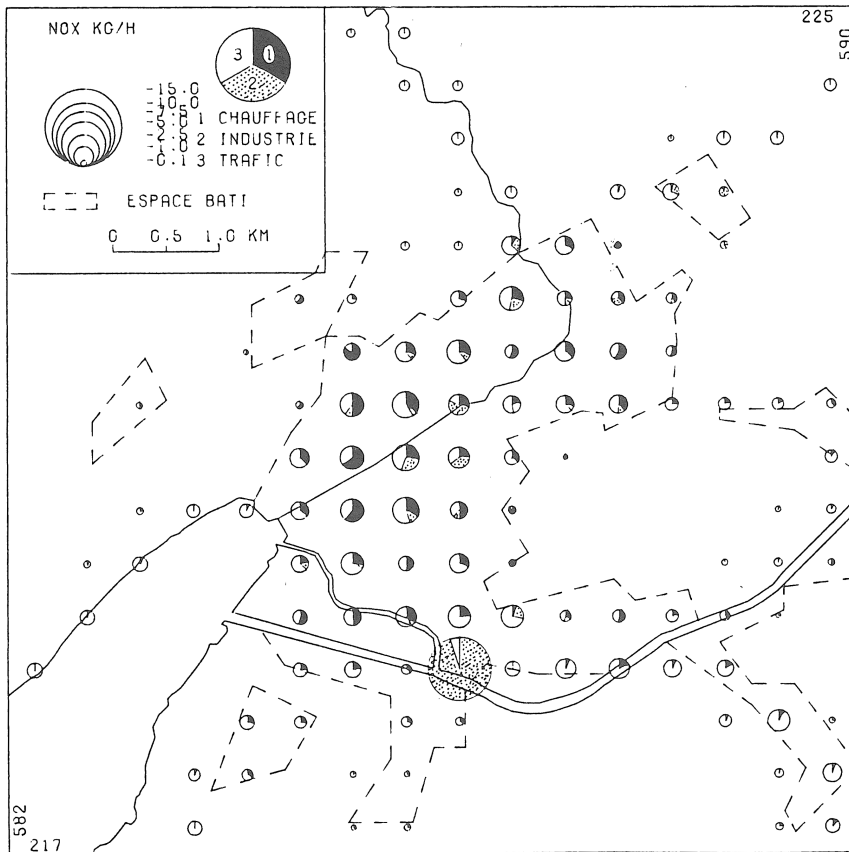
7-8 h



14-15 h



21-22 h



laire coïncide avec le régime maximal des chauffages dans les ménages et dans les entreprises. L'émission est très élevée au centre de l'agglomération et considérable sur les axes routiers principaux. Par rapport à la moyenne annuelle (figure 17) ou même par rapport à celle de la journée (figure 24), la part du chauffage et celle de l'industrie sont nettement supérieures. Dans les conditions admises au chapitre 3.6, cette carte peut être considérée comme représentative de la pointe de trafic du soir également, qui devrait toutefois présenter légèrement plus d'émission due au trafic et un peu moins en provenance du chauffage.

Durant le reste de la journée, par exemple de 14 h. à 15 h., l'émission demeure importante, sans atteindre les valeurs des heures de pointe matinales et vespérales. Le trafic domine clairement la scène mais le chauffage reste important au centre-ville (bien que le régime des installations soit sensiblement réduit). La part de l'émission industrielle n'est pas négligeable; elle le serait moins encore si l'on considérait les émissions de HC, car les processus industriels fonctionnent à pleine capacité. Dans ce sens, cette troisième carte est caractéristique des heures de travail du matin et de l'après-midi, de 8 h. à 11h30 et de 13h30 à 17 h., l'émission étant de toute vraisemblance légèrement plus élevée durant les deux pointes de trafic de la mi-journée et un peu plus faible entre ces deux dernières.

L'émission, qui augmente très rapidement le matin avec le début des activités, ne diminue au contraire que lentement en soirée, suite probablement aux activités de loisir: entre 21 h. et 22 h., l'émission a déjà très sérieusement diminué, mais le trafic reste important. Ce phénomène est encore nettement plus prononcé en fin de semaine, où cette image de l'émission se prolongera jusque tard dans la nuit (cf. figure 11).

En définitive, l'émission est soumise à des variations dramatiques au cours de la journée. Presque nulle la nuit, elle augmente abruptement aux premières heures du matin pour se stabiliser ensuite à un niveau élevé jusqu'en fin de journée; elle ne diminue ensuite que lentement en soirée, notamment le week-end.

4.5 Récapitulation

En résumé, les émissions atmosphériques de l'agglomération biennoise peuvent être caractérisées comme suit:

- sans être alarmantes, les émissions de l'agglomération biennoise n'en demeurent pas moins importantes: quelque 700 t d'oxydes d'azote NO_x , 500 t d'anhydride sulfureux SO_2 et 600 t d'hydrocarbures HC y sont rejetées dans l'atmosphère chaque année;
- la majeure partie des émissions de NO_x et de HC provient du trafic routier, l'émission de NO_x étant plus forte sur les grands axes routiers en dehors des localités et celle de HC, au contraire, au centre de l'agglomération;
- au niveau de l'émission, le trafic lourd joue un rôle nettement plus important que ne laisse supposer sa charge de trafic;
- le trafic est à l'origine de la majeure partie des émissions durant la saison chaude;
- la majeure partie des émissions de SO_2 est due au chauffage domestique et à celui des entreprises industrielles. De ce fait, le SO_2 est essentiellement un polluant hivernal dans la région;
- au contraire de celle des deux autres polluants, l'émission de SO_2 se limite à l'espace construit;
- exception faite de la station d'incinération des déchets urbains - qui sera d'ailleurs assainie -, les processus industriels sont caractérisés par une importante émission de HC, notamment par volatilisation;
- de manière générale les variations temporelles de l'émission sont importantes: il faut notamment relever la part changeante des groupes de sources au cours de l'année et le contraste entre l'émission nocturne, presque nulle, et l'émission diurne.

Ces quelques constatations en apparence fort simples suffisent pourtant à rejeter bien des idées reçues. L'industrie, par exemple, sans être exempte de problèmes, n'est décidément pas la bête noire de l'hygiène de l'air à Bienne. Par ailleurs, le SO_2 - traceur classique de l'industrie - ne permet guère de la caractériser. Si l'émission due au trafic paraît confirmer l'opinion générale, largement diffusée par les médias, qu'en est-il de celle du trafic lourd, pour laquelle nos hommes politiques paraissent n'avoir aucune oreille ? Les variations temporelles, enfin, qui paraissent si évidentes, n'ont encore été, à notre connaissance, ni quantifiées ni vérifiées au niveau de la géographie des émissions.

5. SIGNIFICATION DES RESULTATS

Le chapitre précédent nous a offert un éventail très large de résultats concernant les émissions de l'agglomération biennoise. Si l'on entend exploiter ces résultats pour en faire des instruments aux mains des urbanistes et des autorités de la protection de l'air, il est toutefois indispensable de les interpréter. Afin de donner à cette interprétation assise et relief, deux démarches préalables s'imposent: une analyse structurelle dans la perspective des émissions et une synthèse des résultats.

5.1 Structures urbaines explicatives de la géographie des émissions

En consultant les figures 14 à 25, les habitants de Bienne et les amoureux de cette ville n'auront pas manqué d'y découvrir, dans une ampleur qui ferait éclater le cadre de ce travail, des quartiers, des places, des rues, des édifices même qui marquent le quotidien de cette agglomération. C'est dire que, plus qu'une réalité en soi, les émissions atmosphériques sont d'abord le reflet d'une autre réalité qui est le fruit de l'histoire de la région, des hommes qui la peuplent et de leurs entreprises. Dans la stricte mesure où elle marque la géographie de l'émission, tournons-nous un instant vers cette réalité.

5.1.1 Développement urbain

Sans faire un aperçu historique de la région, il faut rappeler que, durant la seconde moitié du XIX^e siècle, "la population de Bienne a augmenté dans des proportions pour ainsi dire uniques en Suisse: 3462 habitants en 1850; 23679 en 1910. Néanmoins, grâce à l'adoption de l'ordre contigu pour les constructions, l'extension de la ville en surface a été étonnamment petite (...). Il n'y a pas eu, pour ainsi dire, de construction de résidences éparses" (GROSJEAN G., 1973: 133). La remarquable densité du bâti qui en a résulté s'exprime dans l'homogénéité des émissions dues au chauffage sur une grande partie du centre de l'agglomération (figures 15 et 20).

Cette constatation s'applique notamment (figure 26) au centre-ville dans sa configuration actuelle (à peu près délimité par la Vieille-Ville au nord, la Rue des Prés et la Gare au sud et par la Rue du Jura et la Rue du Marché Neuf à l'est; la limite ouest étant plus floue) ainsi qu'aux quartiers construits selon le plan d'alignement de 1878/79 (GROSJEAN G. 1973: 127; BRUECKERT R. 1970:

99-100, fig. 31) au nord du canal de la Suze, tant à l'ouest (Rue du Rüschi, Rue Neuhaus, Rue de l'Hôpital) qu'à l'est de la Vieille-Ville (Rue Dufour, BOURQUIN M. 1980: 133-141).

Relevons encore, par souci d'exactitude, deux zones de construction en ordre contigu essentiellement antérieures à 1910 (GROSJEAN G., 1973: 130):

- la Rue des Prés, entre la Rue Centrale et la Rue de Madretsch, notamment les alentours de la Place des Pianos;
- le quartier situé entre la Gare et le lac, au sud de la Suze (Rue du Débarcadère, Route d'Aarberg, Rue des Bains); ce quartier compte actuellement plusieurs ensembles locatifs récents qui sont plus probablement la cause des émissions plus élevées dans cette zone.

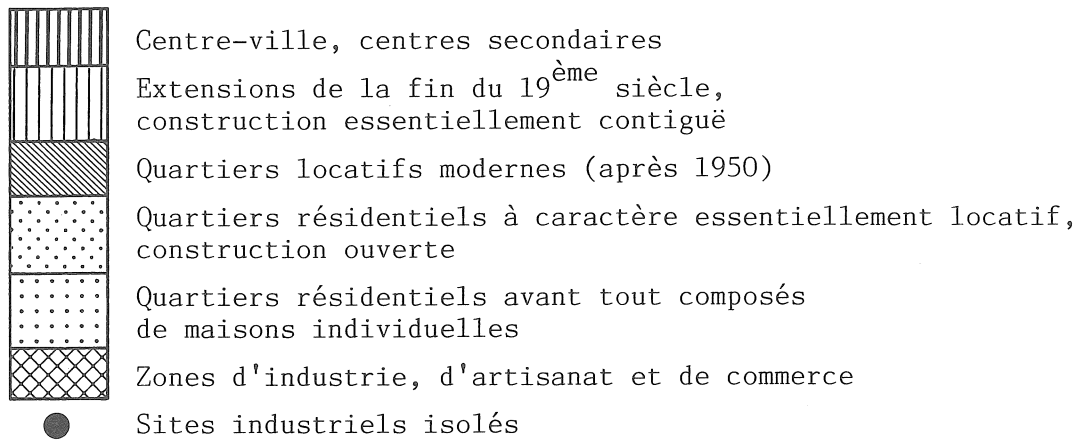
L'extension de la ville a conduit à la fusion des petites communes avoisinantes avec celle de Bienne au début du XX^e siècle (BRUECKERT R. 1970: 101). Le centre de trois de ces communes est parfaitement identifiable sur les cartes d'émission: Boujean, à cheval sur la Suze, au NE; Mâche à l'est; Madretsch au sud de la ville (figure 26). La vieille ville de Nidau, commune restée indépendante, vient s'y ajouter (au SW).

Les grands complexes d'habitation modernes (après 1950) méritent d'être évoqués dans la perspective des émissions atmosphériques, non seulement en raison de leur taille, mais également parce que les bâtiments de cette époque de haute conjoncture se signalent par une consommation d'énergie nettement supérieure à la moyenne (WICK B. 1983: 23; WEBER R. 1984: 19). Les quartiers les plus importants sont les suivants (figure 26):

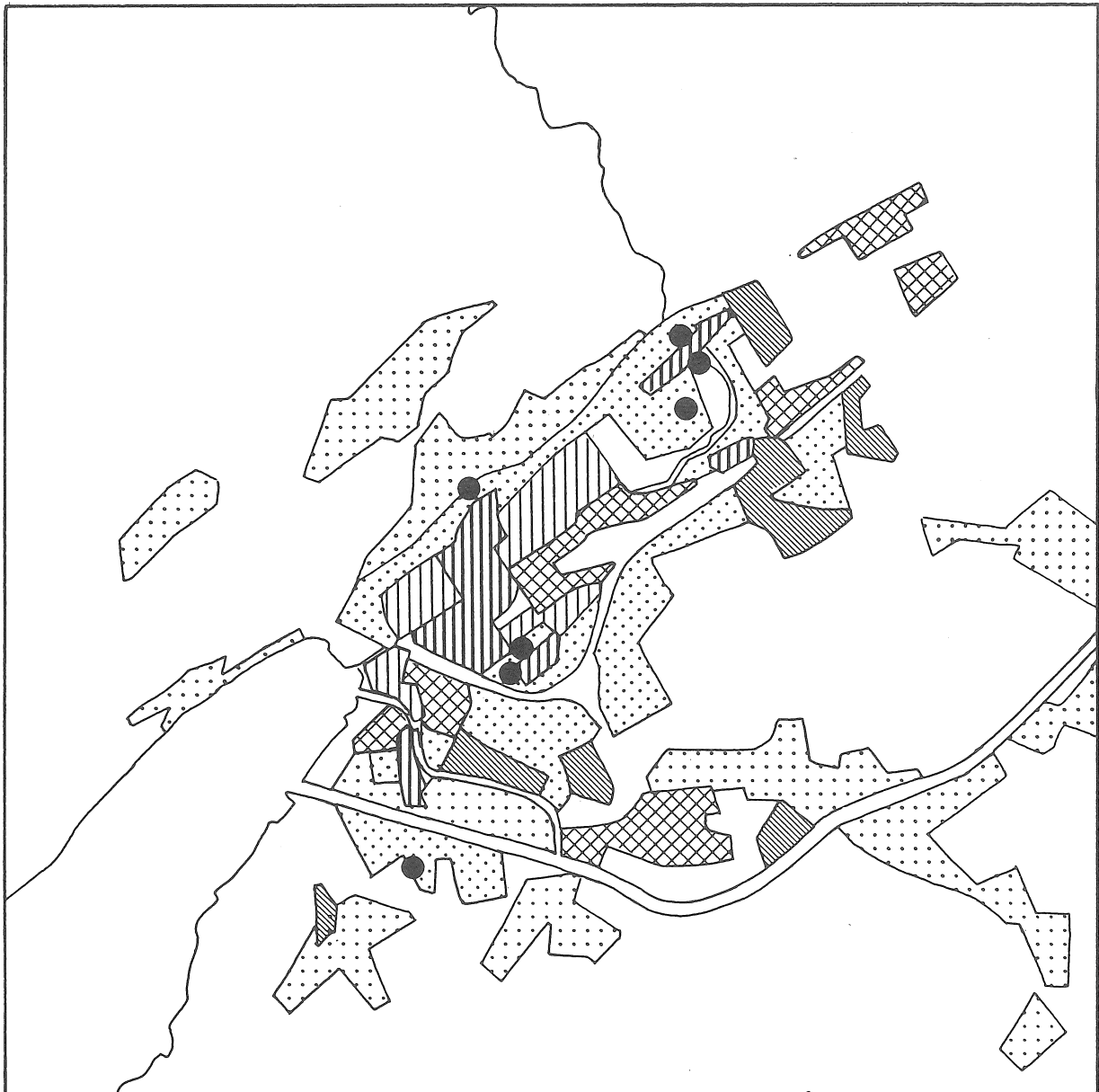
- le quartier de la Weidteile, des deux côtés de la semi-autoroute Bienne-Lyss, au NE de la commune de Nidau, ainsi que les abords de la Route de Port, plus à l'est;
- le quartier situé sur le flanc ouest du Büttenberg, à l'est de Mâche (Rue Gottfried Reimann, Route du Büttenberg, Chemin Bartolomé);
- le quartier du Battenberg, au sud de Mâche;
- le quartier moderne immédiatement à l'est de Boujean (Laengasse, Rue Henri Dunant, Chemin de la Scierie, Rue de la Patinoire).

Enfin, il faut également relever des complexes locatifs récents dans les communes de banlieue notamment à Ipsach et à Brügg (immédiatement au nord du Canal de Nidau-Büren).

Figure 26: Structures urbaines explicatives de la géographie des émissions



Conception et réalisation: P.Berlincourt 1987



Outre ces quartiers, l'agglomération comprend essentiellement des zones d'habitation soit essentiellement locatives (ex: Champagne, entre la ville et Boujean), soit composées avant tout de maisons individuelles (ex: Evillard, Beaumont).

Ces quelques réflexions font ressortir un lien de causalité évident du développement urbain à la géographie de l'émission, lien qui se traduit non seulement au niveau des emplacements, mais plus encore à celui des quantités de polluants émises.

5.1.2 Sites industriels

L'explication des émissions en provenance des industries est plus difficile car les processus sont en constante mutation et les entreprises se succèdent souvent au même emplacement. Les sites industriels, en revanche, sont suffisamment stables pour nous permettre de mieux comprendre la géographie des émetteurs industriels (figure 26).

Jusqu'à l'apparition d'autres sources d'énergie mécanique, les cours d'eau ont déterminé l'emplacement des entreprises industrielles. Bienne ne fait pas exception: telle est en effet l'origine des entreprises situées à la sortie des Gorges du Taubenloch, qui disposent d'ailleurs de petites usines hydro-électriques et celle d'autres entreprises situées plus en aval, le long de la Suze. Il en va de même pour plusieurs entreprises situées au sud de la Suze, entre l'est du centre-ville et le nord de Madretsch: elles se trouvent sur la Suze de Madretsch.

Toutefois, ce n'est pas la présence d'un cours d'eau, mais bien celle de la gare de triage qui explique essentiellement la grande zone industrielle en forme de tenaille à l'est du centre-ville. Le chemin de fer est également à l'origine de deux autres quartiers industriels qui regroupent des entreprises occupant de grandes surfaces: le quartier du Chemin du Long Champ, à l'est de Mâche et celui qui part de la gare voyageurs en direction de l'ouest. Seule la partie occidentale de ce quartier a encore une signification au niveau des émissions industrielles, car le grand complexe situé vis-à-vis de la gare est devenu une surface commerciale (ancienne usine de montage General Motors).

Enfin, la présence de routes à grand trafic est à l'origine des deux grandes zones industrielles modernes de l'agglomération, celle du Champ de Boujean au NE et celle du Champ de Brügg au sud, qui ont le grand mérite d'être coupées des zones d'habitation, comme le relève GROSJEAN (1973: 185).

5.1.3 Réseau routier

L'émission résultant du trafic automobile est si étroitement corrélée avec le réseau routier que la description des grands axes de pollution, donnée au chapitre 4.2.2 pour les oxydes d'azote et au chapitre 4.2.3 pour les hydrocarbures, définit avec suffisamment de précision les axes de trafic principaux. Une comparaison avec la figure 9 ou la figure 27 permet de les identifier.

5.1.4 Evolution de l'habitat urbain

L'évolution de l'habitat urbain et la nouvelle répartition démographique qui en découle a de nombreuses incidences sur la géographie des émissions atmosphériques dans les agglomérations suisses.

De manière générale, on constate un dépeuplement des communes noyaux et une augmentation de la population résidente dans des communes de plus en plus éloignées du centre de l'agglomération. L'agglomération de Bienne ne fait guère exception: La commune de Bienne a vu sa population diminuer de 5 à 10% entre 1965 et 1970, alors que les autres communes de l'agglomération enregistraient une augmentation rapide de leur population, de 10 à 15% dans les communes de Safnern, Orpond, Brügg et Port et de plus de 15% dans celles de Studen, Nidau, Ipsach, Belmund et Sutz-Lattrigen (ATLAS DE LA SUISSE. CARTE 24A**). Cette tendance au déplacement des résidences vers les communes périphériques se maintient encore, notamment sur la rive sud du lac, comme le montre l'évolution démographique de l'agglomération entre 1970 et 1980: Bienne -16.4 %, Evilard +18.2 %, Port +22.4 %, Aegerten +33 %, Studen +54.4 %, Moerigen +55.2 %, Ipsach +84.8 % (OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE 1984: 16). Il est intéressant de relever que Nidau passe dans les communes déficitaires (-0.4 %). Cette évolution s'accompagne d'une restructuration du type d'habitation: "la plupart des constructions d'habitation de ces dix dernières années sont des maisons individuelles, alors qu'avant 1970 il s'agissait plutôt d'immeubles locatifs parfois fortement concentrés (OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE 1984: 35).

Cette évolution a deux conséquences majeures au niveau de l'émission:

- Une croissance rapide de la surface présentant une émission et un éparpillement de cette dernière. L'assainissement des émissions et, de manière plus générale, la maîtrise du phénomène de pollution atmosphérique n'en deviennent que plus difficiles.

5.2 Carte de synthèse de l'émission

En considération du large éventail d'informations fournies par nos résultats, il paraît indispensable de dresser une carte de synthèse des émissions atmosphériques de l'agglomération biennoise, même si ce pas n'a été que très rarement franchi jusqu'à présent: à notre connaissance, seuls MATHYS et al. (1980: carte "Luftschadstoffemissionen Stadt Bern") sont allés dans cette direction. La situation est différente au niveau des immissions, où l'on peut trouver assez souvent des cartes de la charge globale (Belastungskarten).

5.2.1 Difficultés et impasses

Loin d'être fortuite, la réticence face aux cartes de synthèse de l'émission a plusieurs origines. D'une part, les polluants sont difficilement comparables, car ils diffèrent au niveau de leur chimie, de leurs propriétés physiques, de leur toxicité, de leur concentration et de leur fréquence (cf. 3.2.1). Les effets de synergisme ne font que compliquer le problème, d'autant plus qu'ils sont en partie encore mal connus, notamment au niveau des hydrocarbures. D'autre part, les tentatives de réduire les polluants à un dénominateur commun n'ont rencontré que très peu d'écho. Ainsi, la formule utilisée par les savants soviétiques pour indexer les valeurs de concentration maximale d'immission (MIK-Werte) en présence de plusieurs polluants est clairement repoussée par leurs collègues d'Allemagne fédérale (MOLL W. 1978: 50). En raison des arguments avancés ci-dessus, l'approche de l'étude de Wetzlar, qui crée un indice d'importance relative des polluants (Relevanzanteil) en fonction de leurs effets toxiques connus (DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982: 35-36) paraît difficilement applicable, comme nous avons pu en faire l'expérience. Si les effets nocifs des polluants sont amplement traités, tant dans les ouvrages de référence (p. ex. STERN A.C. et al. 1973: 112-138) que dans les études plus spécifiques (p. ex. MARTY et al. 1985: 1890-1892), les milieux spécialisés s'abstiennent visiblement de toute comparaison directe entre les toxicités des différents polluants.

Afin d'éviter le double problème de la comparaison des polluants et de leur toxicité, nous avons ensuite cherché à dessiner une carte de synthèse en classant les hectares en fonction des quantités des trois polluants selon le principe: si un polluant est supérieur à X ou si deux polluants sont supérieurs à Y ($Y < X$) ou si les trois polluants sont supérieurs à Z ($Z < Y$), l'hectare entre dans la classe a,b,...n. Vu l'importance du trafic routier au niveau des NO_x et des HC,

cette méthode très neutre a également abouti à l'impasse: la carte de synthèse était une représentation fidèle du réseau routier (plusieurs essais avec différentes valeurs-limites)!

Ces nombreuses impasses nous ont conduit à une **approche pragmatique**: la carte de synthèse doit répondre aux besoins des utilisateurs de notre études et elle doit dégager l'essentiel du large éventail de résultats présentés ci-dessus.

5.2.2 Exigences des utilisateurs

Les utilisateurs de l'étude d'émission sont des services de l'administration publique ou des entreprises privées travaillant sous leur mandat dans deux domaines: la protection de l'air et l'urbanisme (cf. chapitre 2).

- Les milieux de la protection de l'air doivent pouvoir cerner les émetteurs individuels qui requièrent un assainissement technique à court terme. Ils doivent également pouvoir identifier les axes de trafic et les quartiers à forte émission, bien que leurs possibilités d'intervention dans ces domaines soient déjà plus limitées (cf. 5.2.4, 5.3 et 7).

- Les urbanistes doivent pouvoir identifier les conséquences des structures urbaines actuelles au niveau de la qualité de l'air, définir les quartiers ou les axes de trafic qui nécessitent des réaménagements dans cette perspective et estimer l'impact d'affectations futures du territoire.

Au vu de ces exigences, la carte de synthèse doit distinguer des quartiers, des axes de trafic et des émetteurs individuels dans la perspective d'assainissements.

Dans cette optique, la carte de synthèse n'a pas besoin d'être exhaustive: elle doit permettre de dégager les problèmes actuels.

Pour être complet, il convient de préciser que les spécialistes des modèles de dispersion ne sont pas des utilisateurs potentiels de la carte de synthèse, car ils doivent recourir aux données d'émission exactes.

5.2.3 Traits essentiels de l'émission

En considérant les résultats de notre étude d'émission (chap. 4 et 5.1, figures 12 à 26) avec suffisamment de recul, il est possible de distinguer quatre types d'émission.

- 1⁰ Une **émission de surface essentiellement hivernale** provenant du chauffage domestique, dont le traceur principal est l'anhydride sulfureux, les NO_x arrivant en seconde position.
- 2⁰ Une **émission ponctuelle essentiellement hivernale** provenant du chauffage d'établissements industriels, commerciaux ou publics de grande dimension, avec les mêmes traceurs que le groupe précédant.
- 3⁰ Une **émission ponctuelle répartie sur toute l'année** qui résulte de processus industriels. Ici, les traceurs varient en fonction des entreprises, mais les hydrocarbures prédominent.
- 4⁰ Une **émission linéaire répartie sur toute l'année**, mais plutôt plus importante en été, qui provient du trafic routier, les polluants clés étant les oxydes d'azote et les hydrocarbures.

Pour la carte de synthèse, il paraît donc souhaitable de délaissier la représentation hectométrique et de représenter les émetteurs isolés par des signes ponctuels, les axes de trafic par un graphisme linéaire et les quartiers par des surfaces indiquant leur taux d'émission. Il est intéressant de relever que cette démarche marque un certain retour aux origines.

5.2.4 Une carte qualitative

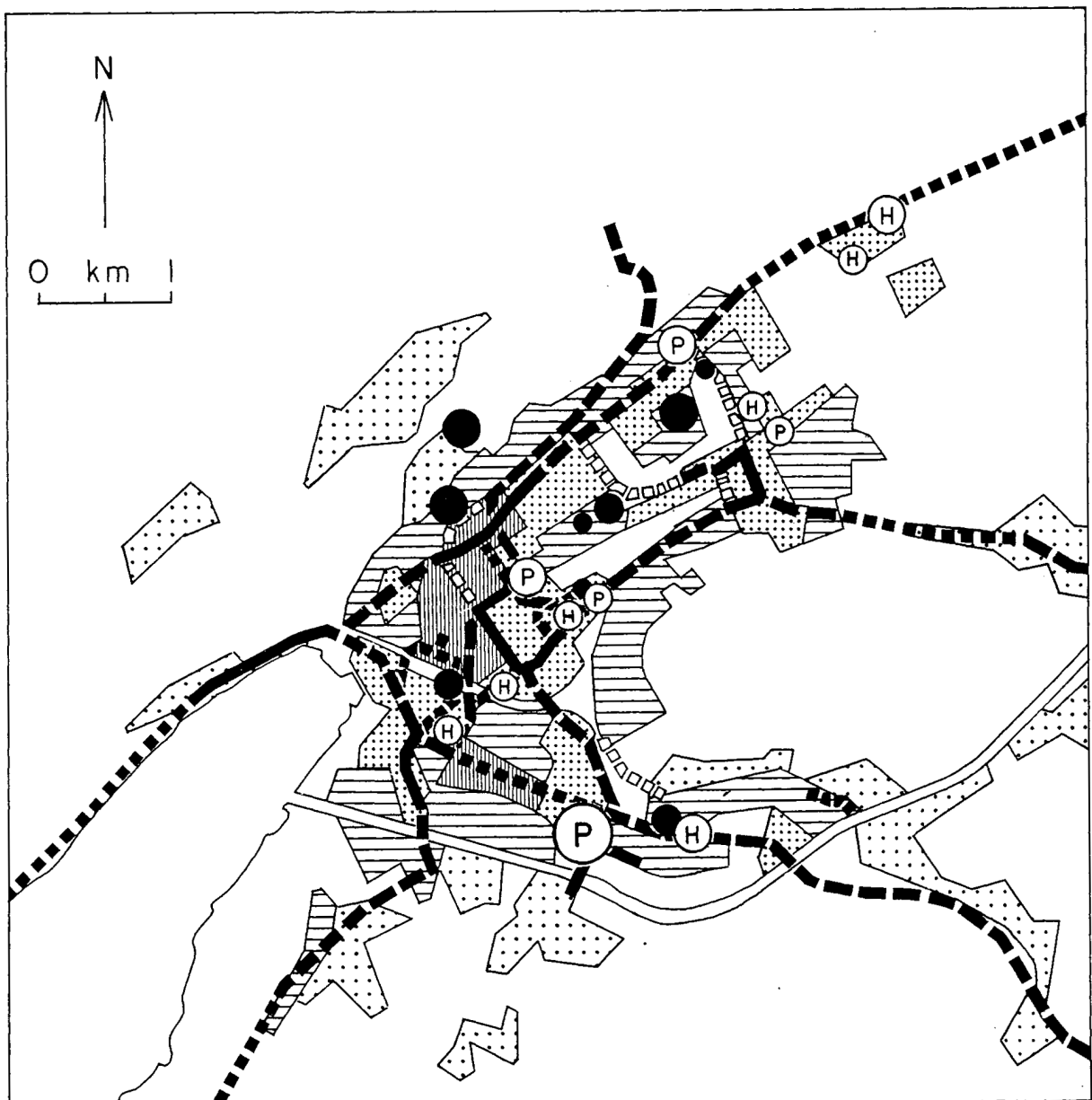
Les réflexions du chapitre 5.2.1 ont montré les difficultés auxquelles se heurtent les tentatives de cartes de synthèse quantitatives. D'autres arguments parlent également en défaveur d'une solution quantitative:

- Les chiffres fournis par un cadastre d'émission ne sont pas des vérités absolues, d'une part parce que les méthodes qui ont servi à l'établissement de ces valeurs sont évaluatives (cf. 3.1.2), d'autre part parce que l'émission exacte de chaque émetteur peut varier par rapport aux estimations en fonction de nombreux paramètres (état technique et réglage des installations, conditions météorologiques ou encore conjoncture économique, etc).

Figure 27

EMISSIONS ATMOSPHERIQUES
DE L' AGGLOMERATION DE BIENNE
CARTE DE SYNTHESE

Conception et réalisation: P.Berlincourt 1987



Légende

Emission de surface durant la saison froide							
Emission en provenance du chauffage des bâtiments de tous types, indépendamment de leur fonction.							
Emission Interprétation		Ordre de grandeur SO ₂ kg/ha	Mesures d'assainissement de l'état actuel	Mesures préventives pour l'avenir			
	très élevée	plus de 800	Assainissement global par le biais d'une conception énergétique. Imposer des énergies de substitution.	Aucune nouvelle source susceptible d'augmenter l'émission globale du quartier. Prescriptions spéciales.			
	élevée	400 - 800	Des assainissements locaux peuvent s'imposer, notamment dans les centres secondaires et les quartiers locatifs des années soixante. Utiliser des énergies de substitution.	Veiller, par le règlement des constructions, à ce que l'implantation de nouvelles activités, possible en soi, ne détériore pas le bilan de l'émission du quartier.			
	moyenne	200 - 400	Les assainissements se limitent à des installations isolées.	L'implantation de nouvelles installations doit respecter la nature essentiellement résidentielle de ces quartiers.			
	faible	moins de 200	Promouvoir les énergies de substitution.				
Emission ponctuelle durant la saison froide							
Emission en provenance d'établissements industriels, commerciaux ou publics de grandes dimensions							
Emission Interprétation		Ordre de grandeur du polluant principal	Mesures d'assainissement de l'état actuel	Mesures préventives pour l'avenir			
	exceptionnelle	plus de 4000 kg/an	Vérifier la conformité à l'ordonnance de protection de l'air (Art. 12 à 16) et à d'autres bases légles. Assainir au cas échéant (OPAir Art. 3 à 10).	Par le règlement des constructions et par la conception énergétique, veiller à ce que l'aménagement énergétique de grands bâtiments soit conforme aux exigences de l'environnement.			
	très élevée	2000 - 4000 kg/an					
	élevée	1000 - 2000 kg/an					
Emission ponctuelle résultant de processus industriels							
Emission assez constante au cours de l'année, sauf durant les interruptions d'exploitation (vacances). La représentation graphique se limite aux émissions les plus importantes.							
Emission		HC	Interprétation	Ordre de grandeur kg/an	Mesures d'assainissement de l'état actuel	Mesures préventives pour l'avenir	
trois polluants 1)							
			exceptionnelle	plus de 10'000	Vérifier la conformité à l'OPAir (Art. 12 - 16, annexes 1 et 2) et assainir au cas échéant (Art. 3-10).	pour l'industrie: rechercher des processus et des produits plus conformes aux exigences de l'environnement. pour l'autorité: assortir le droit d'établissement des prescriptions nécessaires.	
			très élevée	2'000 - 10'000			
			élevée	1'000 - 2'000			
1) il s'agit de processus thermiques							
Emission linéaire due au trafic routier							
Emission provenant du trafic léger et du trafic lourd (totalité de l'émission de SO ₂ , 25 % de celle de NO _x , plus de 25 % 4 celle de HC). Emission assez constante au cours de l'année, avec un léger plus en été. L'émission de HC est plus importante à faible vitesse, celle de NO _x à vitesse élevée. Seuls les axes présentant les plus fortes émissions sont reportés sur la carte.							
Emission		Interprétation		Ordre de grandeur NO _x e _t HC kg/ha		Mesures d'assainissement de l'état actuel	Mesures préventives pour l'avenir
		1er polluant	2e polluant				
	exceptionnelle	plus de 1600	400 - 1600			réduire d'urgence le volume de trafic, notamment aux heures de pointe.	Ne pas créer d'axes de trafic (autoroutes) générant un trafic supplémentaire dans la région. Développer les transports publics. Réduire le trafic privé par des mesures politiques.
	très élevée	800 - 1600	800 - 1600				
	élevée	800 - 1600	400 - 800			réduire si possible le volume de trafic.	
	assez élevée	400 - 800	400 - 800				

- Les valeurs quantitatives d'un cadastre d'émission, qui se réfèrent à des surfaces (hectares, kilomètres carrés), ne peuvent pas être comparées à des limites légales. En effet, l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air prévoit uniquement des **valeurs-limites d'émission** pour des produits, des installations ou des véhicules (CONFEDERATION SUISSE 1986: RS 814.318.142.1; chap. 2 et annexes 1-5).
- Les chiffres absolus restent très abstraits pour les personnes qui n'ont pas de connaissances approfondies des polluants.

Ces embûches de l'approche quantitative nous ont conduit à une carte de synthèse qualitative accompagnée d'une légende détaillée (figure 27). Tenant compte du but de cette carte, qui doit être aisément lisible, nous n'y avons pas représenté tous les émetteurs ponctuels, mais seulement les plus importants (plus d'une tonne par année pour un des polluants au moins). De même, nous nous sommes limités aux axes de trafic qui présentent une émission élevée (au moins 400 kg/ha par année de NO_x et de HC). Ces éléments linéaires et ponctuels sont autant d'accents sur la toile de fond que forment les zones de l'émission due au chauffage. Ces dernières ont été établies en tenant compte, là où il y avait correspondance, des structures du tissu urbain (cf. 5.1). A notre avis, cette forme de graphisme dépasse clairement le message qu'aurait pu exprimer une carte quantitative, car elle ne se limite pas à représenter les valeurs d'émission mais elle en donne une **interprétation comparative**.

5.3 Vers l'assainissement

La carte de synthèse (figure 27) permet de localiser avec suffisamment de précision les sources d'émission qui demandent un assainissement. Nous nous proposons de compléter cette information spatiale par quelques réflexions sur le niveau et le domaine d'intervention ainsi que sur l'état d'avancement des assainissements et les questions ouvertes pour les différents types d'émetteurs. Pour ce faire, nous procéderons par ordre croissant de complexité.

5.3.1 Une scène dynamique: l'assainissement de sources ponctuelles

La figure 27 présente deux groupes d'émetteurs ponctuels importants, les uns présentant une émission élevée au chauffage, les autres une émission élevée due à des processus industriels.

Le premier groupe comprend sept entreprises industrielles, une entreprise industrielle et commerciale, un complexe commercial et un complexe public, qui sont des émetteurs importants par la simple taille de leurs bâtiments ou des émetteurs problématiques en raison des combustibles utilisés. Hormis les entreprises utilisant du bois ou de l'huile moyenne/lourde comme combustible, **ces établissements ont tous procédé à des réaménagements énergétiques importants** dans la première moitié des années quatre-vingt. Il faudrait toutefois vérifier s'ils sont conformes à l'ordonnance sur la protection de l'air, qui est entrée en vigueur ultérieurement (1er mars 1986), ce qui est plus que vraisemblable. Pour les entreprises utilisant de l'huile lourde ou moyenne, le passage à un combustible plus propre devrait suffire à assurer la conformité à l'ordonnance sur la protection de l'air (bases de l'assainissement: annexe 3, chiffres 421-422). A titre d'illustration, la conversion au gaz naturel signifierait une diminution de l'émission de SO₂ de 11 à 12 tonnes par année. Les chauffages utilisant des déchets de bois illustrent la complexité des problèmes de l'environnement. Si les émissions de HC de ces installations s'avèrent problématiques (bois vernis ou imprégnés, agglomérés), il est indéniable que la combustion des déchets sur place est une forme intelligente de recyclage. C'est d'ailleurs pourquoi l'une de ces entreprises a récemment reçu l'autorisation de construire une centrale de chauffe de grande dimension. Du point de vue de la protection de l'air, seul le projet d'y raccorder un chauffage de quartier justifie, à notre avis, la réalisation de cette centrale.

Le deuxième groupe comprend la station d'incinération des déchets urbains, deux entreprises de métallurgie établies chacune sur deux sites et sept entreprises présentant une émission importante d'hydrocarbures uniquement. La station d'incinération des déchets urbains, qui est de loin l'émetteur ponctuel le plus important de la région, sera assainie par l'installation d'un système de lavage des fumées d'ici à fin 1989 au plus tard (délai fixé par les autorités cantonales). L'une des entreprises de métallurgie utilise des quantités de chaleur considérables qui sont produites au moyen d'énergie combustible. A la demande du canton, elle a procédé, entre 1982 et 1985, à une modernisation de ses équipements accompagnée d'une conversion de l'huile moyenne et lourde au gaz naturel dans la plupart de ses installations. Dans la perspective de la qualité de

l'air, ces transformations ont amélioré le bilan de l'émission de SO_2 de 21 tonnes et celui des NO_x de 4,5 tonnes. L'autre entreprise métallurgique utilise de l'huile moyenne pour un processus de fonderie.

Parmi les sept entreprises présentant une forte émission d'hydrocarbures seulement, six utilisent des processus de peinture. La septième, une imprimerie, était le plus grand émetteur de HC de l'agglomération avant son assainissement en 1985. Les entreprises utilisant des processus de peinture devront être examinées en vertu des prescriptions de l'ordonnance sur la protection de l'air sur les processus de revêtement en général (annexe 2, chapitre 6) et sur l'émission de solvants organiques en particulier (annexe 2, chiffre 613). Les connaissances les plus récentes sur les solvants organiques montrent toutefois déjà maintenant que ces prescriptions sont insuffisantes et qu'un assainissement réel à long terme requiert des produits et des processus de technologie nouvelle (BIEDERMANN R. 1987).

En conclusion, les grands émetteurs ponctuels appellent les remarques suivantes:

1. L'assainissement systématique de grandes sources ponctuelles a débuté bien avant l'entrée en vigueur de l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air.
2. Les résultats positifs obtenus jusqu'à présent doivent beaucoup à la coopération qui s'est établie entre les autorités de la protection de l'air et les milieux industriels concernés.
3. L'ordonnance sur la protection de l'air s'avère être un instrument efficace pour l'assainissement de sources ponctuelles et de processus industriels.
4. La protection de l'air peut être un stimulant de l'innovation technologique.

5.3.2 Problèmes complexes: l'assainissement du chauffage domestique

La carte de synthèse fait ressortir deux grandes zones d'émission très élevée provenant du chauffage domestique. Le chapitre 4.2.1 a également montré la présence de petits quartiers d'émission très élevée dans les zones d'émission élevée. Ces valeurs d'émission sont confirmées par les mesures d'immission de SO_2 effectuées à Bienne (AESCHBACHER R. et MELI R. 1977; WANNER H. et al. 1982; BERLINCOURT P. 1983; SCHUEPBACH E. 1984; KIGA BERN in prep.) comme par les modélisations gaussiennes (FILLIGER P. 1986: 73-91), qui s'accordent à indiquer des valeurs d'immission annuelle de SO_2 d'environ 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ au centre-ville, soit

quelque 20 ug/m³ de plus que ne le tolère l'ordonnance de protection de l'air (annexe 7: 30 ug/m³). Certes, une partie de cette pollution est importée (niveau de pollution moyen du Plateau suisse en campagne: 10-15 ug/m³) Il n'en demeure pas moins que le **centre-ville**, où les mesures d'immission ont été réalisées, **et les autres quartiers présentant des émissions semblables doivent être assainis**. Toutefois, cet assainissement devrait s'avérer nettement plus difficile que celui des sources ponctuelles importantes. En effet, grâce à la loi cantonale bernoise sur la salubrité de l'air du 16 novembre 1978 (CANTON DE BERNE 1978) et, plus précisément, à l'ordonnance cantonale bernoise sur le contrôle des foyers alimentés au moyen d'huile de chauffage de qualité "extra légère" du 7 novembre 1979 (CANTON DE BERNE 1979), il est permis d'admettre que les installations individuelles des quartiers à assainir sont conformes aux prescriptions légales. L'ordonnance sur la protection de l'air prévoit certes à l'article 32, premier alinéa, la possibilité d'introduire des limites d'émission complémentaires ou plus sévères en présence d'immissions excessives provenant de plusieurs installations stationnaires, mais elle diminue elle-même la portée de cette clause à l'article 32, deuxième alinéa. Par ailleurs, de telles mesures spéciales ne trouveront guère d'échos favorables auprès des propriétaires d'installations correctes qui pourraient faire valoir le principe constitutionnel de l'égalité de traitement. Par chance, les autorités peuvent recourir à d'autres bases juridiques, notamment celles sur l'énergie: il doit être possible de justifier des assainissements substantiels par une utilisation conjointe adéquate des textes de loi en vigueur. Il n'en demeure pas moins que les autorités devront faire preuve d'autant de doigté que de détermination.

En définitive, comme l'ordonnance sur la protection de l'air est essentiellement axée sur les installations, l'autorité se trouve fort démunie face à des quartiers d'émission trop élevée. En outre, la démarche préconisée par l'ordonnance, qui consiste à définir ces quartiers à partir des valeurs d'immission, pose de graves problèmes scientifiques, la chaîne logique émission-transmission-immission n'étant pas réversible! **La définition d'une limite d'émission pour les quartiers serait des plus utiles**. Au vu de nos résultats, le seuil critique paraît se situer en valeur annuelle autour de 800 kg/ha de SO₂ ou de NO_x pour 5 à 10 hectares contigus, la notion de contiguïté devant s'adapter aux circonstances locales.

5.3.3 Difficultés majeures: l'assainissement du trafic routier

Le problème des émissions atmosphériques dues au trafic routier a été attaqué à l'échelle nationale par l'introduction généralisée de catalyseurs à trois voies sur les voitures neuves. C'est à n'en pas douter une mesure d'assainissement

efficace à moyen terme puisqu'elle devrait amener une réduction des émissions de NO_x et de HC de 80 à 85% d'ici une dizaine d'années, temps nécessaire au renouvellement du parc actuel. Toutefois, à deux niveaux au moins, le catalyseur ne résout pas les problèmes de la pollution de l'air due au trafic: d'une part, les émissions qui ne proviennent pas de la combustion ne sont réduites d'aucune manière: usure des freins (amiante et autres particules) et du véhicule en général (p. ex. rouille); volatilisation du carburant (pertes par évaporation en Europe occidentale 962×10^3 tonnes, soit plus d'un tiers de l'émission résultant de la combustion; CONCAWE 1986: 4); d'autre part l'ampleur actuelle des émissions dans des agglomérations comme Bienne est telle qu'il est irresponsable d'attendre dix ans sans prendre des mesures: La figure 27 montre **20 émetteurs ponctuels** présentant une émission de plus d'une tonne par an. L'émission des tronçons marqués par une ligne continue (émission exceptionnelle) et par un traitillé (émissions très élevées) dans cette figure correspond à quelque **150 émetteurs ponctuels de cette taille alignés le long des axes routiers** ou, autre comparaison éloquente, à 3-4 fois au moins l'émission de NO_x de la station d'incinération des déchets urbains. Or, comme le confirmeront de toute vraisemblance les scénarios en cours de réalisation dans le cadre du projet "Climat et qualité de l'air dans la région de Bienne" (KLIMA UND LUFTHYGIENE DER REGION BIEL-SEE-LAND: SYNTHESBERICHT, in prep.), des projets de détournement et de canalisation du trafic tels que les deux variantes d'autoroutes de contournement envisagées pour Bienne (voir à cet effet les plans les plus récents auprès de l'Office cantonal des constructions routières) ne diminueront guère les émissions globales de la région: comme la construction d'une telle autoroute représenterait une amélioration notable de l'offre de trafic, il faut plutôt s'attendre à une augmentation du nombre de déplacements et, par conséquent, des émissions. En définitive, nos résultats tendent à montrer que **seule une réduction massive du volume du trafic routier dans la région** (voir les scénarios susmentionnés) **peut apporter une amélioration substantielle et durable de la qualité de l'air**. Cette politique impopulaire et difficile se justifie d'autant plus qu'il est essentiel d'aborder l'impact du trafic routier sur l'environnement naturel, humain et urbain dans sa globalité: pollution de l'air, de l'eau et du sol, consommation d'espace et atteinte au paysage, bruit et atteinte psychologique, accidents, conditionnement des modes de vie.

6. RESULTATS METHODOLOGIQUES

A la lumière de nos résultats pratiques et des autres expériences recueillies au cours des travaux, nous nous proposons d'analyser en rétrospective les méthodes que nous avons mises au point et utilisées (cf. 3.2-3.6). La question de la précision du relevé des émissions, constamment abordée tout au long du chapitre, ne sera plus traitée en soi: en effet, en raison du large éventail des données auxquelles nous avons recouru et en considération de leur nature plutôt socio-économique, il paraît prudent de renoncer à un savant calcul d'erreur selon des formules mathématiques. Rappelons toutefois d'emblée que la probabilité d'erreur est plus élevée pour une source prise individuellement (route, maison, entreprise) que pour une maille hectométrique et pour un hectare que pour l'ensemble de l'agglomération (PELLI T. 1976: 86; théorème limite central).

6.1 Appréciation de la démarche

Dans un premier pas, nous discuterons séparément les relevés des trois groupes de sources et l'approche des fluctuations temporelles de l'émission.

6.1.1 Chauffage domestique

Tant qu'on ne dispose pas de données de consommation d'énergie exactes pour chaque bâtiment, les méthodes reposant sur des variables décrivant la taille des bâtiments et sur des indices énergétiques demeurent la manière la plus fiable de déterminer les émissions dues au chauffage. Les études antérieures que nous avons consultées partent visiblement d'autres principes méthodiques (MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1975, 1980, 1982; DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1982; EMPA 1974; BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980). Sans prétendre avoir fait oeuvre de pionnier en adoptant cette approche, car les importants travaux sur les indices énergétiques (TROXLER et HELBLING 1981; puis WICK B. 1983) nous y incitaient, nous avons néanmoins été parmi les premiers à en reconnaître les avantages:

- possibilité d'application généralisée à tous les bâtiments d'une région;
- indépendance face au combustible;
- possibilité de modifier en tout temps les indices énergétiques et les facteurs d'émission (évolution des technologies).

Pour autant que nous puissions en juger, ce principe méthodologique gagne du terrain en Suisse (p. ex. BRUEGGER T. et DESCLOUX M. 1987).

Si les méthodes que nous avons développées pour Nidau et pour Bienne (surtout) sont assez complexes, elles ont néanmoins permis d'élaborer une **méthode simple et rapide** pour les autres communes, méthode **aisément transposable** (3.3.4, fig 6 et table 7). Ses avantages sont:

- le nombre réduit de paramètres: nombre de logements, zone d'aménagement et consommation de gaz;
- l'utilisation directe des données hectométriques;
- le calibrage de la surface chauffée en fonction des zones d'aménagement;
- le rapport favorable entre l'investissement de travail et la précision des résultats.

La fiabilité de cette méthode semble confirmée par la très bonne correspondance entre la somme de nos valeurs hectométriques de consommation par commune et la consommation par commune déterminée dans le cadre de la conception énergétique régionale. Si cette méthode fournit une remarquable précision d'ensemble et une bonne précision pour chaque hectare, elle peut donner lieu à des erreurs dans l'estimation des bâtiments individuels, notamment lorsque ceux-ci ont des affectations particulières.

C'est précisément l'avantage du relevé minutieux sur le terrain, tel que nous l'avons pratiqué à Nidau, d'éviter de telles erreurs d'appréciation. Pour ce qui est du calcul de la taille des bâtiments, cette méthode très exacte est d'ailleurs applicable n'importe où dans le monde, les indices énergétiques et les facteurs d'émission devant naturellement être adaptés aux conditions climatiques et aux modes de vie locaux.

Enfin, si les plus récents travaux sur les indices énergétiques montrent une influence de l'année de construction des bâtiments sur leur consommation spécifique (p. ex. WICK 1983: 20-22; SCHWARZ et WICK 1985: 20-21), nous sommes d'avis que ces finesses ne sont pas nécessaires lors d'une première approche des problèmes d'émission d'une agglomération.

Une remarque qui s'applique à toutes les études régionales d'émission pour conclure: le **travail de terrain**, sous forme de reconnaissances et de contrôles, **est indispensable** au relevé du chauffage domestique.

6.1.2 Trafic routier

Pour le groupe de sources trafic routier, nous avons l'avantage de pouvoir recourir à un modèle de trafic préexistant qui indique directement la charge de trafic des différents tronçons de routes (cf. 3.4.2), le passage de cette dernière à l'émission étant somme toute assez simple (cf. 3.4.5). Ce modèle s'avère d'ailleurs utile à l'ensemble du projet "Climat et qualité de l'air dans la région de Bienne", car il permet de simuler des scénarios d'assainissement.

Notre évaluation des émissions dues au trafic routier, réalisée à partir de la huitième affectation du modèle de trafic, aurait gagné à se servir de la douzième affectation, plus précise, notamment au centre-ville (cf. table 8). Une évaluation des émissions à partir de cette affectation est en cours de réalisation; elle servira à la comparaison de scénarios signalée au chapitre 5.3.3.

Si les vitesses commerciales introduites dans notre calcul des émissions ont paru réalistes aux spécialistes consultés, il n'en demeure pas moins qu'il serait réconfortant de disposer d'études plus poussées sur cette question, notamment sur l'évolution des vitesses commerciales au cours de la journée. A notre avis, deux axes de recherche complémentaires sont nécessaires: recherches théoriques et études de spécificités locales.

La même constatation s'applique à l'évaluation de la part de trafic lourd. Ici, c'est surtout le nombre des comptages locaux qui devrait être augmenté. L'Office d'urbanisme de la Ville de Bienne s'est d'ailleurs attelé à cette tâche de longue haleine (cf. table 12).

Le passage de la charge trafic à l'émission journalière pose peu de problèmes car les valeurs d'émission spécifiques fournies par l'OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT(1984) pour le trafic léger et par HASSEL D. et al. (1980) pour le trafic lourd sont bien établies (cf. table 4). Il faut relever que ces valeurs ne sont plus tout à fait utilisables actuellement en raison des nouvelles prescriptions en vigueur pour les voitures neuves. L'augmentation progressive de la part des véhicules à catalyseurs demande une adaptation régulière des émissions spécifiques.

Que faire en l'absence de modèles de trafic? Au vu de nos expériences, des personnes disposant de **très bonnes connaissances locales**, telle que, dans le cas de Bienne, les collaborateurs de l'Office d'urbanisme, du service des travaux publics et de la police municipale et cantonale, devraient être à même, **en joi-**

gnant leur savoir, d'évaluer la charge de trafic, les vitesses commerciales et la part de trafic lourd sur les axes de transit et les principaux autres axes routiers d'une agglomération telle que Bienne.

6.1.3 Industrie

Notre enquête dans les entreprises industrielles remonte à 1982. Si l'Allemagne fédérale disposait déjà à l'époque de l'instrument des déclarations d'émissions, les enquêtes spécifiques sur la pollution de l'air des entreprises industrielles se limitaient en Suisse à de grands émetteurs ou à des émetteurs problématiques. Si les enquêtes sur la consommation d'énergie des entreprises, qu'elles soient réalisées par les autorités ou par les milieux économiques eux-mêmes, étaient déjà fort nombreuses, notre enquête était l'une des toutes premières à **relever systématiquement l'émission due aux processus de production.**

Dans ces circonstances, les deux volets essentiels de notre enquête, consommation d'énergie et émission de polluants à la production (cf. 3.5.5) étaient deux frères inégaux.

Le relevé de la consommation d'énergie, qui avait pu mettre à profit les expériences faites ailleurs (cf. 3.5.2), a posé fort peu de problèmes. Les difficultés rencontrées dans les rares entreprises plus complexes ont néanmoins montré la nécessité de relever dorénavant également l'utilisation de l'énergie (production: force, processus thermiques; éclairage; chauffage des locaux; préparation d'eau chaude) et les variations temporelles de la consommation (au cours de l'année, de la semaine et de la journée).

Les valeurs de consommation d'énergie obtenues, précises et complètes, ont d'ailleurs pu être utilisées pour la conception d'énergie régionale: nos valeurs ont permis d'établir des indices énergétiques généralisés pour les différents secteurs industriels (BERLINCOURT P. 1985). A cette occasion, nous avons pu constater que les indices établis à partir de nos données effectives étaient nettement inférieurs aux indices statistiques couramment utilisés, notamment dans le secteur des machines et instruments et dans celui de la métallurgie. Lors de la discussion de ces résultats, le responsable de la conception énergétique régionale a convenu de la validité de nos valeurs.

Au niveau des processus, nos connaissances étaient au départ assez limitées, en raison même de notre formation: dans bien des cas, seul le bon sens pouvait guider notre jugement. En outre, les personnes qui ont été confrontées jadis aux problèmes des émissions dues à des processus de production s'accorderont sûre-

ment à confirmer que **l'accès au savoir spécialisé était, pour le moins, difficile**. Sous ces auspices peu favorables, nos résultats concernant les processus peuvent être qualifiés de remarquables. Nous n'en restons pas moins conscient que l'image dégagée présente nécessairement des lacunes, en raison même de la **prudence** qui s'imposait lors de l'évaluation. Nos résultats doivent donc être compris comme une évaluation de **l'émission minimale due aux processus industriels**. En dépit de ces réserves, nos résultats nous ont permis de signaler, en 1984 déjà, **le rôle majeur des émissions d'hydrocarbures** dans ce secteur (BERLINCOURT P. 1984: 44) qui ne fait que se confirmer depuis, comme le montre l'évolution des estimations de l'Office fédéral de la protection de l'environnement (PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT EN SUISSE 1/1985: 18; CONSEIL FEDERAL SUISSE 1986: 7-11).

A n'en pas douter, les déclarations d'émission prévues par l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air (CONFEDERATION SUISSE 1986, RS 814.318.142.1, art. 12) permettraient de parfaire et de compléter nos indications. Actuellement, un groupe de travail de CERCL'AIR (communication aux membres du 28 août 1987) est en train de développer des questionnaires spécifiques à cet effet en étroite collaboration avec les milieux professionnels de l'industrie.

Enfin, il nous a été possible de tirer profit de notre enquête lors du développement d'un questionnaire pour le cadastre des émissions du canton de Fribourg. Notre proposition (annexe 2) abandonne les questions portant sur les pertes de chaleurs, mais elle ajoute des questions concernant l'effectif du personnel, les dates des vacances, l'utilisation de l'énergie, les variations temporelles de la consommation d'énergie, les variations temporelles de la production. En outre, elle est plus précise quant à l'émission durant la production et quant aux prévisions. Après quelques modifications, ce nouveau questionnaire a effectivement été utilisé pour le relevé des émetteurs industriels dans le canton de Fribourg (BRUEGGER et DESCLOUX 1987: 40-47). Nous avons également soumis notre proposition au groupe de travail de CERCL'AIR (voir ci-dessus), dans l'espoir qu'elle puisse servir à l'établissement d'un **questionnaire général pour la déclaration d'émission**.

6.1.4 Variations temporelles de l'émission

Malgré son caractère expérimental, notre approche systématique des variations temporelles de l'émission nous a fourni une vision plus précise du comportement

de chaque groupe de source ainsi qu'une sensibilité accrue pour les modifications spatiales résultant de fluctuations temporelles. L'utilisation de plus en plus fréquente de modèles de dispersion dans le contexte de la protection de l'air donne à cet aspect de notre étude une signification croissante.

Les schémas assez sommaires que nous avons proposés permettent une **première approche** facile et rapide de la question des variations temporelles. En outre, ils peuvent être assez aisément introduits dans les modèles de dispersion de type Gaussien (FILLIGER P. 1986: 44-45).

Toutefois, nous sommes d'avis que des connaissances plus précises s'avéreront indispensables à moyen terme. C'est ce qui nous a conduit à introduire le relevé systématique des dates des vacances ainsi que des variations temporelles de la consommation d'énergie et de la production dans notre proposition de déclaration d'émission pour les entreprises industrielles (annexe 2; cf. 6.1.3). L'expérience du canton de Fribourg montrera, souhaitons-le, s'il est effectivement possible d'utiliser des **courbes de variations standardisées** pour un grand nombre d'entreprises, comme nous l'avons admis (BRUEGGER et DESCLOUX in prep.).

En ce qui concerne le chauffage, nos méthodes reposent sur des paramètres strictement climatologiques pour la répartition de l'émission annuelle sur les mois de l'année et sur des hypothèses simples quant au rythme d'exploitation pour les fluctuations durant la semaine et durant la journée, l'émission mensuelle étant sommairement répartie uniformément sur les semaines du mois considéré. En passant ainsi de l'émission annuelle à l'émission horaire, il faut se demander jusqu'où les facteurs climatiques dominant et à partir de quand les rythmes d'exploitation prennent le dessus. Dans la perspective des modèles de diffusion, c'est, à notre avis, dans cette direction que doivent s'orienter les recherches.

Au niveau du trafic, nous avons utilisé des courbes de variation standardisées uniformément sur tous les axes routiers de l'agglomération. Cette simplification majeure nous a paru admissible pour une première approche. Comme nous l'a confirmé Madame Buchenel (Office d'urbanisme de la Ville de Bienne), l'introduction de rythmes hebdomadaires et journaliers différents pour les grands axes (seuls représentés à la figure 27), pour les dessertes industrielles et pour les routes de quartier améliorerait nettement notre modèle de variations temporelles. Il est possible que certaines modifications soient déjà introduites lors du calcul des scénarios mentionnés au chapitre 5.3.3. Toutefois une approche sérieuse de ces questions requiert des comptages de trafic très précis et des connaissances locales étendues.

6.2 Représentation et résolution spatiale

Il nous paraît d'autant plus utile de s'attarder quelque peu sur la double question de la représentation graphique et de la résolution spatiale qu'elle n'a quasiment jamais été abordée dans la littérature spécialisée. En outre, ces deux aspects méthodiques soulignent la **nature géographique** des études d'émission.

6.2.1 Représentation graphique

Un bon graphisme fait plus que soutenir l'information chiffrée et écrite: d'une part, il permet à son auteur de souligner les aspects qui lui semblent importants; d'autre part, il peut mettre en évidence des réalités que les chiffres n'expriment pas, notamment des relations spatiales. Dans la perspective du lecteur, enfin, le graphisme permet une compréhension synthétique rapide des problèmes discutés. A la lumière de ces quelques réflexions, nous aimerions discuter des avantages et des désavantages des représentations cartographiques utilisées aux chapitres 4 et 5 et signaler quelques autres possibilités.

La solution cartographique la plus fréquente dans les études d'émission à ce jour est celle d'une **mosaïque de densité à mailles uniformes** (IMHOF E. 1972: Abb.88) que nous avons utilisée pour la représentation des valeurs hectométriques (figures 14,16,18). Comme elle est aussi applicable à de très petites surfaces élémentaires (1 ha à l'échelle 1:50'000 = 2 x 2 mm), cette solution offre une **haute résolution spatiale**. Par contre, les valeurs représentées doivent être classées et le nombre de classes est limité pour des raisons graphiques. Le succès de cette technique dépend d'une **bonne couverture spatiale** associée à un **nombre suffisant de mailles élémentaires**. Si ce dernier est trop élevé, l'image tendra à être confuse, s'il est trop faible, l'information transmise par la carte est pauvre (p. ex. EMPA 1974:26).

La seconde solution, rarement utilisée (p. ex. BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980: Karte 2), fait appel à des **cercles dont la surface est proportionnelle aux valeurs représentées** (AERNI K. 1976:30-31). Nous y avons recouru pour la représentation de valeurs agrégées au quart de kilomètre carré (figures 15,17,19-25). Cette solution a trois avantages: **la haute plasticité, la représentation de valeurs absolues et la possibilité d'ajouter des informations** en divisant le cercle en secteurs (pour indiquer p. ex. la part des groupes de sources ou celle du trafic lourd et du trafic léger, etc.). La taille des cercles pose une **limite supérieure à la résolution spatiale et une limite inférieure aux valeurs à représenter**: A l'échelle que nous avons utilisée (1:50'000), le quart de kilomè-

tre carré est la meilleure résolution spatiale possible et les valeurs de SO₂ et de NO_x inférieures à 300 kg ne sont plus représentables. Malgré cette restriction, c'est la solution que nous préférons.

Nous avons également envisagé deux autres solutions que nous avons toutefois abandonnées: la première recourt à une **carte d'isohypses** et la seconde consiste à **représenter les valeurs par des colonnes** dans une représentation tridimensionnelle: La carte d'isohypses des émissions hectométriques tend à la confusion en raison de la disparité des valeurs. Nos essais à partir des valeurs agrégées au quart de kilomètre carré ont montré que cette technique permet de se détacher de la rigidité des mailles élémentaires pour mieux tenir compte des structures de l'espace construit. La représentation des valeurs par des colonnes a le grand désavantage que les valeurs de l'arrière-plan sont cachées par celles de l'avant-plan si celles-ci sont élevées.

La représentation des émissions par une **mosaïque de densité selon les unités administratives** (quartiers, communes) nous paraît des plus **inadéquates**, car ces unités sont de superficies différentes et n'ont que très peu de liens avec les pourtours de l'espace construit, où se concentre pourtant la majeure partie de l'émission. De ce fait, les cartes réalisées selon cette technique sont pour ainsi dire dénuées de signification (p. ex. AUSSTOSS VON LUFTVERUNREINIGUNGEN IM KANTON SOLOTHURN 1987: 28-32; cf. également 6.2.2).

Pour une carte de synthèse, enfin, il y a tout avantage à se libérer de ces cartographies rigides pour adapter pleinement le graphisme au message à exprimer (cf. carte 27).

6.2.2 Résolution spatiale

Notre étude a été parmi les premières, si ce n'est la toute première, à avoir adopté une maille élémentaire d'un hectare. Par rapport aux études antérieures, qui faisaient appel au kilomètre carré comme maille la plus fine, la résolution spatiale adoptée ici est donc a priori 100 fois supérieure.

La figure 28 présente les valeurs de la figure 16 (hectare) et de la figure 17 (quart de kilomètre carré) agrégées au kilomètre carré. La comparaison de ces trois représentations est très significative:

- la maille hectométrique permet de cerner avec une grande précision les quartiers, les axes de trafic et les émetteurs isolés importants. Elle permet également de dégager des zones sans émissions à l'intérieur même de l'espace construit (fig. 14,16,18).
- la maille d'un quart de kilomètre carré permet encore de définir avec une certaine précision des quartiers d'émission plus importants (p. ex. le centre-ville); elle permet d'identifier approximativement les plus grands émetteurs ponctuels; enfin, elle reproduit assez fidèlement les pourtours de l'espace construit et indique l'orientation générale des grands axes routiers hors localité. Par contre l'identification des sources et de leur configuration géographique dans le périmètre construit n'est guère possible (fig. 15, 17, 19).
- la maille kilométrique ne permet plus qu'une vague identification des quartiers d'émission particulièrement importante; les axes d'émission (due au trafic) se sont estompés; seules les sources ponctuelles majeures sont encore discernables (uniquement station d'incinération des déchets urbains); si le pourtour des grandes localités (Bienne) est encore à peu près reconnaissable, les petites (Evilard, Macolin, Ipsach, Port, Orpond) disparaissent (fig. 28).

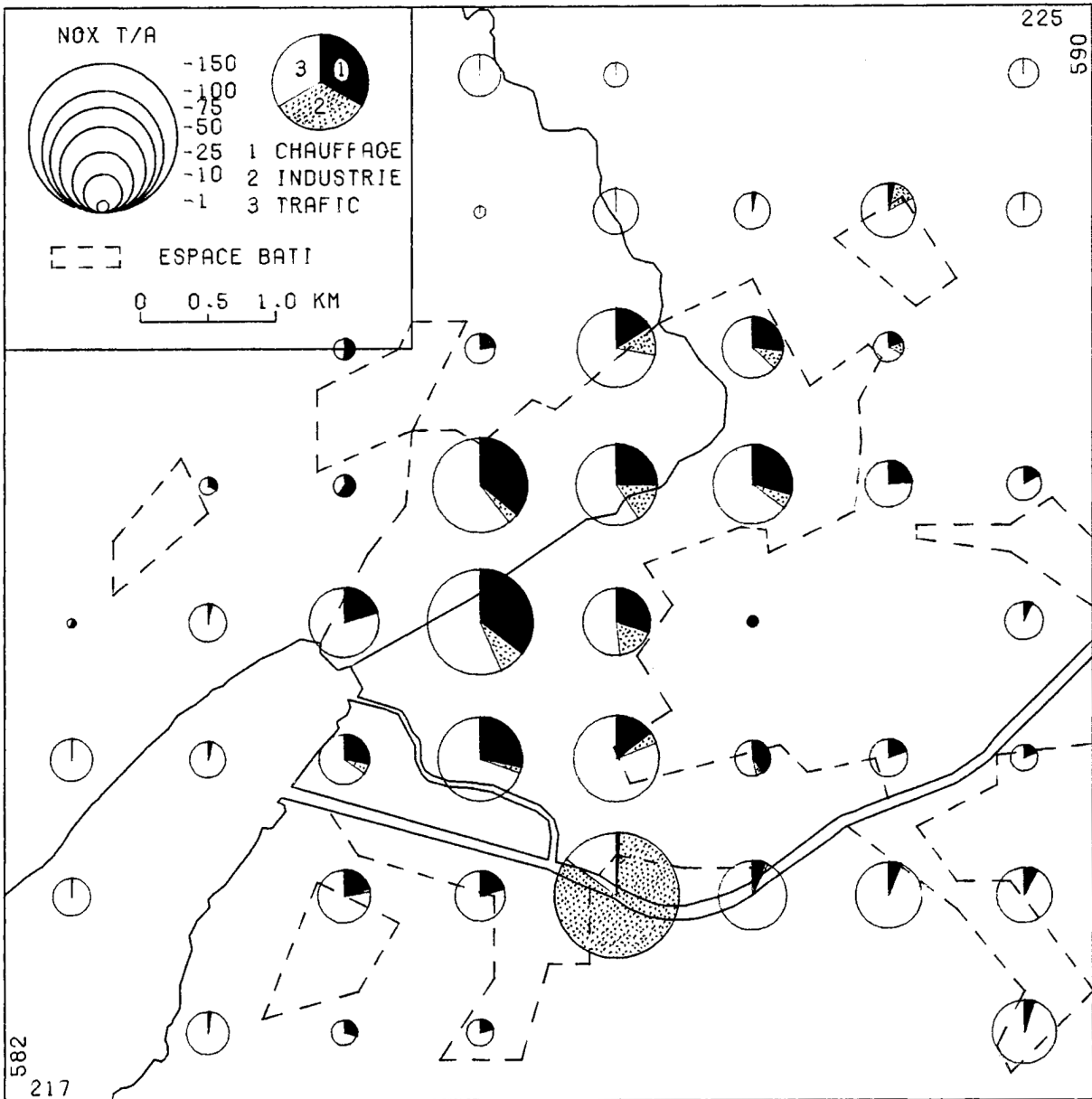
La teneur en information d'une étude d'émission augmente donc en fonction de la résolution spatiale. Si le passage de la maille kilométrique, tout à fait insuffisante pour une étude régionale, à la maille d'un quart de kilomètre carré apporte peu d'enseignements nouveaux, **le passage à l'hectare est une amélioration majeure de l'information**, sur les plans qualitatifs et quantitatifs.

En définitive, la maille hectométrique permet aux responsables de la protection de l'air et aux aménagistes d'identifier exactement les émetteurs isolés, les quartiers et les tronçons de route à assainir **à partir des valeurs d'émission déjà**. Elle contribue donc **à faire du relevé des émissions un instrument d'assainissement efficace**.

6.3 Mise à jour et applications des données

Dans la définition des buts de ce travail, nous avons indiqué l'importance de la mise à jour des données pour les utilisateurs.

Figure 28 Oxydes d'azote: carte kilométrique



La question de la mise à jour pose indirectement celle de la date des données actuelles. En fait, comme le relève avec justesse l'étude récente du canton de Soleure (AUSSTOSS VON LUFTVERUNREINIGUNGEN IM KANTON SOLOTHURN 1987:10), il est difficile d'indiquer une date exacte pour un relevé d'émission.

Le relevé du chauffage domestique fait appel à un relevé sur le terrain de 1983 (Nidau, 3.3.2), à des photos aériennes de 1981 (Bienne, 3.3.3, RICKLI B. 1984) et au recensement de population 1980 (autres communes 3.3.4). Celui du trafic routier repose sur le modèle de trafic N5/T6 pour 1985 tandis que celui des industries se base sur une enquête réalisée en 1982-83 dont certaines valeurs ont été actualisées pour 1985 à la suite d'assainissements. Ceci incite à conclure que **notre relevé est représentatif de la période de 1980 à 1985.**

L'adaptation partielle des données au cours des travaux montre qu'une **mise à jour est possible.** Abstraction faite de modifications mineures telles que des changements de facteurs d'émission ou d'indices énergétiques, nous avons procédé à une mise à jour du relevé du trafic (avec extension du réseau et nouvelle charge de trafic sur chaque tronçon) et à un remaniement complet de l'évaluation des processus industriels.

Deux arguments nous obligent pourtant à **relativiser le postulat de mise à jour des données.** Le premier tient à la nature de la recherche universitaire: les jeunes chercheurs participant à un projet de recherche quitteront rapidement l'université pour se vouer aux carrières professionnelles les plus diverses. C'est toutefois un argument de bien peu de poids face à celui de l'évolution des connaissances, du savoir-faire et des technologies. Ne faut-il pas espérer qu'en 1993-94 - époque à laquelle les données du recensement fédéral de 1990 permettront une mise à jour complète du relevé des émissions - d'autres chercheurs seront à même de faire mieux ?

Dans cette optique, c'est plutôt au niveau des **applications immédiates** qu'un relevé des émissions doit offrir des possibilités.

Le relevé des émissions de l'agglomération de Bienne a déjà trouvé **plusieurs applications partielles** (déclaration d'émission pour l'étude du canton de Fribourg; conception régionale d'énergie; scénarios de trafic et impact sur l'environnement), mais surtout, il **livre les données de base et les clés de variation temporelle pour les modèles de diffusion.** En raison notamment de sa haute résolution spatiale, il devrait ouvrir d'autres possibilités d'application, par exemple lors de la **définition des zones à assainir.**

7. CONCLUSIONS

C'est en 1980 que le Syndicat d'aménagement régional Bienne-Seeland (RPLV) nous a demandé de lui fournir des éléments d'appréciation nouveaux en créant un cadastre des émissions de la région. En automne 1987, nous sommes à même de présenter des résultats d'une toute autre portée que ceux que nous osions espérer il y a sept ans. Sept ans: c'est le temps qu'il nous aura fallu pour passer de ce qui paraissait être un contrat de droit privé faisant appel à des méthodes de routine à une thèse de doctorat en sciences naturelles. Ainsi, si nous attendions en 1980 avant tout des résultats pratiques de portée locale, notre intérêt a dû peu à peu se tourner vers les aspects méthodiques du relevé des émissions et les questions scientifiques essentielles qu'ils soulèvent.

Sans vouloir en minimiser la portée pratique (voir ci-dessous), c'est à n'en pas douter au niveau des méthodes que notre étude apporte le plus d'éléments nouveaux.

En premier lieu, nos résultats permettent d'expliquer et espérons-le, de dissiper un reproche que les milieux de la protection de l'air adressent volontiers aux relevés des émissions atmosphériques: ils seraient d'une signification restreinte. En plus d'origines juridiques (cf. ci-dessous), cette vision à notre avis erronée a, en ordre croissant d'importance, trois explications méthodologiques:

- La première tient à ce que les auteurs des relevés des émissions, probablement par crainte des critiques d'une société qui ne croit qu'aux chiffres, ont tendance à escamoter la nature évaluative de leurs travaux pour dégager une illusion d'exactitude. Ainsi, les cadastres d'émission sont jugés d'après les critères sévères de la mesuration, auxquels ils ne sauraient correspondre, de par leurs principes mêmes. Nous avouons volontiers avoir longtemps cru être les seuls à travailler dans l'approximatif. Notre étude, qui est l'une des seules, voire la seule, à décrire les méthodes de relevé jusque dans leurs plus fines articulations, montre que les **relevés des émissions sont des modélisations socio-géographiques** au même titre que les études de dispersion sont des modèles physico-mathématiques.

La seconde est connexe de la première: les milieux spécialisés préfèrent les chiffres des mesures d'immission aux évaluations des relevés d'émission et, dans une moindre mesure, aux modèles de dispersion. Or, nos travaux confirment que les relevés d'émission font preuve d'une **remarquable précision** (que nous estimons à +/- 10%) **qui tient notamment à leur cohérence méthodologique et à leur haute spatialité**. Par contre, les résultats les plus récents (p.ex. NEF-TEL 1987:6-11) mettent en évidence plusieurs impondérables des mesures d'im-

mission. A précision comparable, l'évaluation des immissions par utilisation conjointe d'un cadastre d'émission et de modèles de dispersion, qui a fourni d'excellents résultats à Bienne (KLIMA UND LUFTHYGIENE IN DER REGION BIELSEELAND, SYNTHESBERICHT, in prep.), offre deux avantages par rapport à la mesure d'immission: la spatialité de l'information et le meilleur rapport prix / performance (notamment si l'on fait appel à la fonction de service de l'université).

- La troisième est probablement la plus importante. Nos résultats montrent que la résolution spatiale des études antérieures est généralement insuffisante: si la plupart d'entre elles fournissent une évaluation correcte de l'émission, en raison de la maille trop grossière qu'elles utilisent, elles ne permettent pas de saisir les structures urbaines sous-jacentes à l'émission avec la précision nécessaire. Seule la maille hectométrique permet d'identifier avec certitude des routes, des pâtés de maisons et des sources ponctuelles importantes. Cette **précision spatiale de la maille hectométrique fournit une compréhension plus profonde** des valeurs d'émission et de leurs origines, mais surtout, elle **ouvre la voie à des applications directes au niveau de l'assainissement.**

En définitive, pour autant que l'on garde à l'esprit leur nature de modélisation et qu'on fournisse l'effort d'une haute résolution spatiale, **les relevés d'émission peuvent être un instrument efficace de la protection de l'air.**

Par ailleurs, notre étude a montré la **faisabilité d'une différenciation temporelle de l'émission.** Cette approche nouvelle nous a permis de visualiser l'évolution de la répartition spatiale de l'émission dans le temps et, par là même, de mieux comprendre le rôle des trois groupes de sources considérés (chauffage, trafic, industrie). Dans la perspective des modèles de dispersion, où la question des variations temporelles de l'émission est essentielle, ce volet innovateur de notre travail mérite d'être approfondi.

Notre étude montre le **rôle essentiel de la connaissance empirique des lieux** qui est seule à permettre de comprendre exactement les structures urbaines dans tous leurs détails et de les interpréter correctement au niveau de l'émission. Inversement, elle fournit une possibilité unique de contrôle des résultats. Si nous jouissons d'une bonne connaissance de Bienne pour y avoir vécu, la connaissance empirique de spécialistes tels que les urbanistes, les ingénieurs du trafic, les géomètres et d'autres collaborateurs d'une administration locale est plus profitable encore, car elle se double d'une profonde connaissance technique. De ce fait, c'est **aux administrations locales que les relevés d'émission devraient être confiés,** et non à des bureaux d'ingénieurs-conseil généralement étrangers à

la région, comme le veut hélas l'usage en Suisse. De manière générale, nos travaux montrent que le problème du relevé des émissions gagne à **être abordé de manière moins technique mais plus géographique et régionale.**

Nos résultats pratiques appellent une remarque préliminaire: la pollution atmosphérique de l'agglomération de Bienne n'est pas plus grave que celle d'autres villes suisses (cf. p.ex. AUSSTOSS VON LUFTVERUNREINIGUNGEN IM KANTON SOLOTHURN 1987: 20-27). Le fait que Bienne ne soit qu'un **cas d'espèce** accroît la portée de nos résultats.

Les émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne sont caractérisées par la prédominance du trafic routier et du chauffage des bâtiments par rapport à l'industrie. Cet état de fait tient au caractère tertiaire prononcé de Bienne et aux industries relativement peu polluantes qui font la tradition de cette ville (horlogère, mécanique de précision), mais aussi aux efforts déjà entrepris pour améliorer les bilans énergétiques et écologiques de l'industrie.

Quelques remarques quant aux trois groupes de sources:

- Le chauffage est la principale source d'anhydride sulfureux SO_2 . Il engendre des émissions très élevées aux centre-ville et dans quelques quartiers d'habitation modernes. La part importante d'installations fonctionnant au gaz naturel a un effet bénéfique au niveau du SO_2 seulement.
- Le trafic routier produit plus des deux tiers des émissions d'oxydes d'azote NO_x et d'hydrocarbures HC. L'émission de NO_x est particulièrement élevée sur les axes rapides, celle de HC sur les routes engorgées du centre. **Le trafic lourd**, très faible au niveau du volume de trafic (+/- 5%), **produit une émission très considérable** (20-25% de l'émission de NO_x due au trafic).
- L'industrie est caractérisée par la présence de quelques grandes sources, la plus importante étant de très loin la station d'incinération des ordures, les processus industriels communs dans la région provoquant avant tout d'importantes **émissions de HC.**

Les fluctuations temporelles de l'émission sont marquées par la prédominance des **chauffages en hiver** et celle du **trafic routier en été**, la part des processus industriels étant très constante. Au niveau du trafic routier, l'écart entre les jours de semaine et les week-ends tend à s'estomper (volume de trafic et émission). Enfin, l'émission est un phénomène essentiellement **diurne**, l'augmentation abrupte de l'émission le matin contrastant avec sa très lente diminution le soir.

L'ampleur des émissions de l'agglomération biennoise demande des **assainissements importants**. Si l'Ordonnance fédérale sur la protection de l'air (RS 814.318.142.1) s'avère être un instrument efficace pour l'assainissement de sources ponctuelles (industrielles ou autre), ses possibilités sont limitées au niveau du chauffage et du trafic: le chauffage appelle des solutions courageuses et innovatrices au niveau de la **conception énergétique** alors que le trafic routier réclame une **approche globale** de son impact sur l'environnement naturel, urbain et humain.

Nos résultats suggèrent d'ailleurs quelques réflexions sur la législation en matière de protection de l'air en général et sur l'ordonnance fédérale à ce sujet en particulier. Si les milieux de la protection de l'air se plaignent d'un soi-disant manque de signification du relevé des émissions, c'est aussi parce que le législateur n'a pas su ou n'a pas voulu en faire l'instrument de lutte qu'il pourrait être. D'une part, nos résultats ont mis en évidence la nécessité de **valeurs-limites d'émission applicables** non pas à des sources ponctuelles ou des produits chimiques mais à **des éléments de l'espace construit** tels que des routes et des quartiers. D'autre part, ils ne sont pas seuls à prouver que les méthodes d'évaluation des émissions sont suffisamment précises pour définir de telles valeurs, par exemple une émission spécifique par mètre de route ou une émission par hectare pour des quartiers de x hectares contigus. De telles valeurs-limites s'avéreraient plus efficaces et plus sûres que la définition des objets à assainir à partir des valeurs d'immission car, faut-il le rappeler, les principes physiques qui règlent la diffusion des polluants ne sont pas réversibles. En définitive, si le législateur n'a pas su exploiter pleinement le potentiel de certains instruments dont il s'est doté, il a surtout c'est là sa plus grave faute **négligé carrément la réalité géographique des émissions** atmosphériques.

A long terme et il n'y a d'urgent que le long terme, le résultat le plus significatif de notre travail est probablement celui-ci: **la géographie des émissions n'est autre que l'image déformée des structures urbaines dont elle est le produit**. Si les émissions de chaque source prise individuellement sont bien le résultat d'une consommation d'énergie (dans une automobile ou au chauffage) ou d'un processus de travail (dans une entreprise), leur agencement dans l'espace et dans le temps est le produit de réalités plus complexes telles que les modes d'habitat et les relations spatiales qu'ils créent entre les différentes activités humaines (lieux de domicile, de travail, d'achat, de loisir, d'activités sociales, etc.), étroitement intercorrélées avec les contraintes du milieu naturel et de l'histoire. Or, jusqu'à présent, les émissions n'ont pas été considérées comme un aboutissement, mais comme le point de départ de la chaîne causale "Emission -> Transmission -> Immission" qui continue de marquer toute philosophie

et toute politique de la protection de l'air. De ces trois phases classiques de la pollution atmosphérique, l'émission est la seule où nous puissions intervenir: nos résultats ont montré que nos moyens d'intervention, essentiellement technologiques, sont bien limités. Ainsi, si nous avons la possibilité de prolonger nos travaux, c'est vers une **recherche plus fondamentale sur les structures de l'environnement construit et leur influence sur les émissions** que nous nous orienterions, dans l'espoir de trouver des remèdes plus efficaces et plus durables à l'un des problèmes politiques majeurs de notre temps.

Résumé

Le présent ouvrage a une composante méthodologique, définir des méthodes de relevé des sources de pollution atmosphérique à une échelle locale-régionale (env. 50 km²), et une composante régionale, quantifier et visualiser les émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne, Suisse.

Comme pour tous les cadastres d'émission, les méthodes de relevé sont de nature évaluative. Les trois groupes de sources classiques sont retenus: chauffage des bâtiments, trafic routier et industrie. Les polluants envisagés sont l'anhydride sulfureux (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x) et les hydrocarbures (HC). La haute résolution spatiale (maille hectométrique, 100 x 100 m) et l'étude des variations temporelles de l'émission (émission mensuelle, journalière et horaire) sont deux traits marquants du travail.

L'émission due au chauffage domestique dépend très directement de la consommation d'énergie de chauffage. La difficulté méthodique essentielle consiste ici à déterminer cette consommation d'énergie. Après plusieurs tentatives infructueuses (cadastre des citernes, puissance installée, tarifs de taxation des déchets urbains) nous avons déterminé la consommation à partir du volume des bâtiments. Ce principe a l'avantage d'éviter dans une large mesure le problème de la fonction des bâtiments. L'évaluation du volume des bâtiments s'est fait selon trois variantes de calcul dont deux sont aisément applicables ailleurs.

L'émission due au trafic routier dépend de la technique des véhicules et du déroulement du trafic. Les données techniques ont été reprise de la littérature. Le déroulement du trafic sur un axe donné peut être décrit par trois paramètres: la charge de trafic, la vitesse moyenne et la part des différentes catégories de véhicules. Un modèle de trafic existant, très détaillé et actualisé pour 1985, nous a fourni la charge de trafic (trafic journalier moyen). La part du trafic lourd a été établie selon des recensements et les vitesses selon des connaissances empiriques et des indications bibliographiques.

L'émission due à l'industrie dépend des processus utilisés et du chauffage des bâtiments. Comme les données disponibles se limitaient à quelques émetteurs ponctuels importants, il a fallu relever les émissions industrielles par une enquête dans plus de cent entreprises. Vu l'absence de bases légales et les connaissances limitées à l'époque de l'enquête, le relevé des processus s'est avéré très difficile, chaque cas devant être analysé individuellement. Il a néanmoins été possible de déceler l'importance des émissions d'hydrocarbures, confirmée depuis.

Une part importante des développements méthodologiques est consacrée aux fluctuations temporelles de l'émission. Nous sommes partis de l'émission annuelle que nous avons répartie sur les unités de temps plus petites selon des clés différentes pour chaque groupe de sources. La répartition de l'émission annuelle due au chauffage sur les mois de l'année peut se faire en fonction des variations de température (degrés-jours) alors que les fluctuations au cours de la semaine et de la journée dépendent des rythmes d'exploitation. Les variations des processus industriels ont été relevées par une enquête complémentaire dans quelques entreprises. Les variations du trafic ont été établies d'après des normes (mois) et des comptages récents (jours, heures).

Les émissions atmosphériques de la région biennoise sont caractérisées par la prépondérance du trafic routier et du chauffage, l'industrie ne jouant qu'un rôle secondaire. Si nos clés de répartition temporelle paraissent évidentes à première vue, elles ont néanmoins permis de quantifier les variations de l'émission et d'en visualiser l'impact sur la géographie de l'émission. Elles ont entre autres montré le contraste entre la saison froide (prédominance du chauffage mais part importante du trafic) et la saison chaude (nette prédominance du trafic) et le caractère diurne prononcé des émissions atmosphériques.

Nos travaux ont clairement démontré que le contenu d'information d'un relevé d'émission croît rapidement en fonction de la résolution spatiale. La maille hectométrique permet d'identifier avec précision des structures que la maille kilométrique usuelle camoufle. De ce fait nous avons pu mettre en évidence des liens étroits entre les structures de l'agglomération et la géographie des émissions. Il ressort également de nos travaux que le degré de connaissances empiriques sur la région étudiée influence de manière déterminante la précision et la qualité d'un relevé d'émission. Les études d'émission, jusqu'ici très techniques, gagneraient à être plus empiriques-géographiques.

Les valeurs d'émission que nous avons calculées ont servi de données d'entrée à différents modèles de dispersion. L'utilisation conjointe d'un relevé d'émission à haute résolution spatiale et temporelle et d'un jeu de modèles de dispersion est une alternative réelle à la mesure d'immission. Un tel relevé d'émission forme d'ailleurs en soi un instrument d'assainissement, pour autant que le législateur comprenne la dimension géographique (le tissu des relations spatiales entre les sources) des émissions atmosphériques.

Summary

The submitted thesis has a methodological element, i.e. defining methods of recording sources of atmospheric pollution at a local to regional scale (about 50 square kilometers), and a regional element, i.e. quantifying and visualizing air pollution of the agglomeration of Bienne, Switzerland.

As with all emission inventories, the recording methods are of an evaluative nature. The three classical groups of sources are taken into account: heating of buildings, road traffic and industry. The considered pollutants are sulfur dioxide (SO_2), oxides of nitrogen (NO_x) and hydrocarbons (HC). The high spatial resolution (hectometric grid-square, 100 x 100 m) and the study of time variations of the emission (monthly, daily and hourly emission) are two outstanding features of the thesis.

The pollution caused by household heating directly depends on the consumption of heating energy. The chief methodical difficulty here lies in determining this energy consumption. After several unsuccessful trials (tank inventory, installed capacity, taxation rate of urban waste), we have determined consumption from the size of the buildings. This principle has the advantage of largely avoiding the problem of the function of buildings. The computation of the size of the buildings has been made according to three calculation variants, two of which are easily applicable elsewhere.

The pollution caused by road traffic depends on the vehicle technique and on the traffic itself. The technical data have been taken from the existing literature. Traffic occurring on a given road can be described by means of three parameters: the traffic load, the average speed and the percentage of the various categories of vehicles. An existing traffic model, which is very detailed and updated for 1985, has supplied the traffic load (average daily traffic). The percentage of heavy traffic has been determined according to countings and the speeds according to empirical knowledge and bibliographic indications.

The pollution caused by industry depends on the processes which are used and on the heating of industrial buildings. Since the available data were restricted to a few important individual sources, it was necessary to record the industrial pollution by means of an inquiry in more than hundred companies. Considering the lack of legal bases and the limited information existing at the time of the inquiry, the recording of processes turned out to be very difficult and each case had to be analyzed individually. It has nevertheless been possible to show the importance of the hydrocarbon emission, which has since been confirmed.

An important proportion of the methodological part is devoted to the time fluctuations of emission. We started from the yearly emission, which has been distributed over the smaller time units according to different keys for each group of sources. The repartition of yearly pollution caused by heating over the various months can be made according to the temperature variations (degree-days), whereas the fluctuations during the week and during the day depend on the exploitation rhythms. The variations of industrial processes have been recorded by means of a second inquiry in a few companies. The traffic variations have been determined from norms (months) and recent countings (days, hours).

The air pollution of the region of Bienne is characterized by the preponderance of road traffic and of heating, whereas industry plays a secondary role. If our keys of time distribution seem obvious at first sight, they have nevertheless allowed us to quantify the emission variations and to visualize their impact on the geography of emission. They have especially shown the contrast between the winter months (predominance of heating but important proportion of traffic) and the summer months (strong predominance of traffic) as well as the pronounced diurnal character of air pollution.

Our work has clearly shown that the information contents of an emission inventory rapidly increases in proportion to the spatial resolution. The hectometric grid-square allows to identify with precision structures which the usual kilometric grid-square hides. For that reason, we have been able to bring out a close connexion between the agglomeration structures and the geography of emission. It also results from our work that the degree of empirical knowledge about the investigated region very strongly influences the precision and the quality of an emission inventory. The studies of atmospheric emission which have so far been very technical, would gain by being more geographic-oriented.

The emission values we have computed have been used as input data for various dispersion models. The joint utilization of an emission inventory with a high spatial and temporal resolution and of a set of dispersion models is a real alternative to the measurement of immissions. Moreover, such an emission inventory constitutes in itself an improvement instrument, providing that the legislator takes into account the geographical dimension (the spatial interrelations of sources) of air pollution.

(translation: R. Forclaz)

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hat einerseits eine methodologische Zielsetzung - die Ausarbeitung von Methoden zur Erfassung der Luftverschmutzungsquellen in einem lokalen bis regionalen Massstab (ca. 50 km²) - , andererseits eine regionale Zielsetzung, nämlich die quantitative Erfassung und die kartographische Darstellung der Luftemissionen in der Agglomeration Biel, Schweiz.

Wie bei allen Emissionskatastern sind die Erfassungsmethoden evaluativer Natur. Die drei bewährten Emittentengruppen wurden übernommen: Hausfeuerungen, Strassenverkehr und Industrie. Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxide (NO_x) und Kohlenwasserstoffe (HC) sind die berücksichtigten Schadstoffe. Hauptmerkmale der Arbeit sind die sehr feine räumliche Auflösung (Hektarraster: 100 x 100 m) und die Untersuchung der zeitlichen Emissionsschwankungen (monatliche, tägliche und stündliche Emission).

Die von den Hausfeuerungen erzeugte Emission hängt zwangsläufig sehr eng mit dem Heizenergieverbrauch zusammen. Die methodologische Schwierigkeit in diesem Bereich liegt in der Bestimmung dieses Verbrauchs. Nach einigen fruchtlosen Versuchen (mit einem Tankkataster, mit Angaben über die installierte Watt-Leistung, mit den Kehrrichtabfuhrgebühren) wurde der Verbrauch anhand des Volumens der Gebäude ermittelt. Dieser Ansatz hat u.a. den Vorteil, die heikle Frage der Funktion der Gebäude weitgehend zu umgehen. Drei Varianten zur Bestimmung des Gebäudevolumens wurden ausgearbeitet. Zwei davon sind leicht auf andere Regionen übertragbar.

Die vom Strassenverkehr stammende Emission hängt von der Fahrzeugtechnik und vom Verkehr ab. Fahrzeugtechnische Angaben wurden der Literatur entnommen. Der Verkehr auf einem bestimmten Strassenabschnitt kann mit drei Parametern beschrieben werden: dem Verkehrsaufkommen, der durchschnittlichen Geschwindigkeit und dem Anteil der verschiedenen Fahrzeugkategorien. Ein sehr detailliertes Verkehrsmodell, das für 1985 neu berechnet wurde, lieferte das Verkehrsaufkommen. Der Anteil Schwerverkehr wurde anhand neuerer Verkehrszählungen bestimmt, die Geschwindigkeit anhand empirischer Ortskenntnisse und Literaturangaben.

Die von der Industrie verursachte Luftverschmutzung setzt sich zusammen aus den Heizungsemissionen der Industriegebäude und dem durch verschiedene Fabrikationsprozesse bedingten Schadstoffausstoss. Da die vorhandenen Daten sich auf einige grössere Emittenten beschränkten, war es notwendig, die industriellen Emissionen neu anhand einer Umfrage in über hundert Betrieben zu erfassen. Da eine gesetzliche Verankerung der Umfrage zum Zeitpunkt der Erhebung nicht möglich war

und die Kenntnisse über Emissionen noch sehr mangelhaft waren, erwies sich die Erfassung der Industrieprozesse als äusserst schwierig. Jeder Prozess musste separat behandelt werden. Es gelang jedoch, die wichtige Rolle der Kohlenwasserstoffemissionen aufzuzeigen. Die Bedeutung dieser Emissionen wurde seitdem bestätigt.

Die Untersuchung der zeitlichen Schwankung der Emissionen bildet einen weiteren wichtigen Teil der methodologischen Abhandlungen. Wir sind von den Jahresemissionen ausgegangen, welche nach emittentengruppenspezifischen Mustern auf die kleineren Zeiteinheiten verteilt wurden. Die Verteilung der Jahresemission aus den Heizungen auf die einzelnen Monate wurde anhand der Temperaturschwankungen (Heizgradtage) vorgenommen, während die Schwankungen während der Woche und während dem Tag vom Betriebsrhythmus abhängig sind. Die Schwankungen der Industrieprozesse wurden mit einer ergänzenden Umfrage in einigen Betrieben, diejenigen des Verkehrs nach Normen (monatliche Emission) und nach neueren Zählungen (tägliche und stündliche Emission) ermittelt.

Strassenverkehr und Hausfeuerungen sind die Hauptverursacher der Emission in der Region Biel; die Industrie-Emissionen spielen eine untergeordnete Rolle. Die ausgearbeiteten Muster für die zeitliche Verteilung der Emission mögen auf dem ersten Blick trivial wirken; sie haben jedoch ermöglicht, die Emissionsschwankungen zu quantifizieren und ihren Einfluss auf die geographische Verteilung der Emission zu veranschaulichen. Unter anderem konnten wir den Unterschied zwischen der kalten (Vorherrschen der Heizungsemissionen, aber auch beträchtliche Verkehrsemissionen) und der warmen Jahreszeit (eindeutiges Vorherrschen der Verkehrsemissionen) kartographisch aufzeigen. Gleichzeitig wurde dargestellt, dass der grösste Teil der Emissionen tagsüber erfolgt.

Unsere Arbeit hat als wichtiges Resultat erbracht, dass der Informationsgehalt eines Emissionskatasters mit der Verfeinerung der räumlichen Auflösung rascher zunimmt als bisher angenommen wurde. So lässt der hier verwendete Hektarraster viele Strukturen genau erkennen, welche im herkömmlichen Kilometerraster verloren gehen. Somit könnten wir auch den engen Zusammenhang zwischen den Strukturen der Siedlung und der Geographie der Emissionen nachweisen. Es geht auch aus unserer Arbeit hervor, dass der Grad der empirischen Kenntnisse über eine untersuchte Region die Genauigkeit und die Qualität eines Emissionskatasters stark beeinflussen. Ein vermehrt empirisch-geographisch orientierter Ansatz würde den bisher allzu technisch betriebenen Emissionsstudien sehr zugute kommen.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit berechneten Emissionswerte wurden als input-Daten für verschiedene Ausbreitungsmodelle verwendet. Es zeigte sich dabei, dass die Kombination von einem zeitlich und räumlich fein aufgelösten Emis-

sionskataster mit einer Gruppe von Ausbreitungsmodellen eine ernsthafte Alternative zur Immissionsmessung sein kann. Uebrigens würde ein Emissionskataster schon für sich alleine ein wirksames Sanierungsinstrument bilden, würde der Gesetzgeber der geographischen Dimension (Die räumliche Beziehungen zwischen den Quellen) der Luftschadstoffemissionen besser Rechnung tragen.

B I B L I O G R A P H I E

1. Lois et ordonnances

CONFEDERATION SUISSE 1982: Loi sur le travail et Ordonnances 1 et 2, édition 1982, RS 822.11, OCFIM, Berne

CONFEDERATION SUISSE 1983: Loi fédérale sur la protection de l'environnement (loi sur la protection de l'environnement LPE), du 7 octobre 1983, RS 814.01, OCFIM, Berne

CONFEDERATION SUISSE 1986: Ordonnance fédérale sur la protection de l'air (Opair) du 16 décembre 1985, RS 814.318.142.1, OCFIM, Berne

CANTON DE BERNE 1978: Loi sur la salubrité de l'air, Berne, 16 novembre 1978

CANTON DE BERNE 1979: Ordonnance sur le contrôle des foyers alimentés au moyen d'huile de chauffage de qualité "extra-légère", Berne, 7 novembre 1979

2. Publications, revues, articles de presse et manuscrits

AERNI K., 1976: Kartenzeichnen und Arbeitstechnik, Skriptum und Unterlagen zum propädeutisch-geographischen Praktikum I, Geographica Bernensia U12, Geogr. Institut, Universität Bern

AERNI K. (Rédaction) 1980: Die Region Biel-Seeland, Grundlagen und Probleme der heutigen Kulturlandschaft, Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft von Bern, Band 53/1977-79, Lang Druck AG, Liebefeld/Berne

AMT FUER TECHNISCHE ANLAGEN UND LUFTHYGIENE (éditeur) 1983: Luftreinhaltung im Kanton Zürich, Zürich

ARBEITSGRUPPE "STAND DER TECHNIK" 1974: Stand der Technik der Emissionsbekämpfung bei der elektrothermischen Erzeugung von Stahl, Bericht der Arbeitsgruppe "Stand der Technik" zuhanden der Eidg. Kommission für die Behandlung von Umweltschutzproblemen bei metallurgischen Industrieën, Berne

ATLAS DE LA SUISSE 1985: rédigé par Eduard Imhof avec la collaboration d'une commission de rédaction et des autres collaborateurs; Carte 24a**: solde des migrations intérieures par 1000 habitants 1965-1970; Editions du Service topographique fédéral, Wabern-Berne

- AUSSTOSS VON LUFTVERUNREINIGUNGEN IM KANTON SOLOTHURN 1987: Basis 1980, Redaktion R. Maedler AG, hrg. im Auftrage des Volkswirtschaftsdepartementes (des Kantons Solothurn), Soleure
- BASLER & HOFMANN, 1979: Leitfaden zur Abschätzung der Luftfremdstoff-Immissionen durch Strassenverkehrsanlagen, Bundesamt für Umweltschutz (éd.), Berne
- BERLINCOURT P. 1983: Immissionsmessungen des Geographischen Institutes der Universität Bern. Monatstabellen aller gültigen Daten. Rapport intermédiaire. Inst. Geogr. Univ. Bern, Berne (manuscrit)
- BERLINCOURT P. 1984: Cadastre des émissions industrielles Bienne-Seeland, rapport confidentiel, juillet 1984, Inst. Geogr. Univ. Bern, Berne (manuscrit)
- BERLINCOURT P. 1985: Auswertung der Industrie-Umfrage des Geographischen Institutes der Universität Bern, juin 1985, Berne (manuscrit)
- BIEDERMANN R. 1987: Umweltbelastung durch organische Lösungsmittel, Eine Herausforderung für die Luftreinhaltepolitik, Neue Zürcher Zeitung Nr. 177/1987, page 15, Zurich
- BOURQUIN M. 1980: Biel-Bienne au cours des âges, VDB Editions, Berne
- BRUECKERT R. 1970: Bienne, son agglomération, sa région; thèse de doctorat, Université de Berne, Genodruck, Bienne
- BRUEGGER T. et DESCLOUX M. 1987: Inventaire des sources de pollution atmosphérique dans le canton de Fribourg, Rapport intermédiaire destiné à l'Office cantonal de la protection de l'environnement, Fribourg (manuscrit)
- BRUEGGER T. et DESCLOUX M. in prep: Inventaire des sources de pollution atmosphérique dans le canton de Fribourg, rapport final, Fribourg
- BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980: Schwefeldioxid-Emissionskataster 1975 für die Schweiz und Liechtenstein, Berne
- BUNDESAMT FUER UMWELTSCHUTZ 1980 (2): Emissionsangaben, Feuerungen 1-3, Bern (manuscrit)
- CENTRE DE MEDECINE DU TRAVAIL 1976: Etude comparative des machines à dégraisser les métaux par des solvants chlorés, dans le cadre du décolletage et des industries annexes, Centre de médecine du travail de Cluses (Haute-Savoie), Cluses
- CONCAWE 1986: Volatile organic compound emissions: an inventory for western Europe: ConcaWE report no. 2/86, CONCAWE, Den Haag
- CONSEIL FEDERAL SUISSE 1986: Rapport "Stratégie de lutte contre la pollution de l'air" du 10 septembre 1986, 86.047, OCFIM, Berne

- DEPARTEMENT FEDERAL DE L'INTERIEUR 1984: Ordonnance sur la lutte contre la pollution atmosphérique (OPA), projet, mai 1984, Berne
- DUETSCH H.W. 1986: Hauptaspekte der Luftverschmutzung, Neue Zürcher Zeitung, Samstag/Sonntag, 8./9. Februar 1986, Nr. 32, page 35, Zürich
- EIDGENOESSISCHES DEPARTEMENT DES INNERN 1981: Güternahverkehr/Gesetzmässigkeiten, Forschungsarbeit Nr. 13/75 der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), EDI-Bericht no. 22, Juli 1981, Bern-Zürich
- EKV (SCHWEIZERISCHER ENERGIE-KONSUMENTEN-VERBAND VON INDUSTRIE UND WIRTSCHAFT 1981: Energieverbrauch in der Schweizerischen Industrie im Jahre 1980, Erhebung, durchgeführt im Auftrage des Eidg. Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartementes, Juni 1981, Basel
- EMPA (Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt) 1974: Emissionskataster für Schwefeldioxid für das Gebiet der Schweiz und Liechtensteins für das Jahr 1970, Auftrag Nr. 24'000, erstellt im Auftrag des Eidg. Amtes für Umweltschutz, Dübendorf
- ENERGIEFACHSTELLE DER STADT BERN 1985: Zusammenstellung spezifischer Emissionsfaktoren für den Bereich Hausbrand und Kleingewerbe, juillet 1985, Berne
- FILLIGER P. 1986: Die Ausbreitung von Luftschadstoffen - Modelle und ihre Anwendung in der Region Biel, Geographica Bernensia G14, Geogr. Inst. der Universität Bern, Berne
- GEORGE P. 1978: Les méthodes de la géographie, deuxième édition mise à jour, coll. "Que sais-je?" No. 1398, Presses Universitaires de France, Paris, ISBN 2 13 035629X
- GROSJEAN G. 1973: Canton de Berne, Bases historiques de l'aménagement, Atlas de l'aménagement, Canton de Berne, troisième livraison, Diffuseur Kummerly + Frey, Berne
- HAGGETT P. 1983: Geography: a modern synthesis, Revised Third Edition, Harper & Row, New York, ISBN 0-06-042579-2
- HASSEL D., J. BROSTHAUS, F. DURSBECK, Dr. P. JOST, K.-S. SONNBORN (TUV Rheinland): Das Abgas-Emissionsverhalten von Personenkraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1980. Umweltbundesamt Berlin, Berichte 9/80. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- DER HESSISCHE MINISTER FUER LANDESENTWICKLUNG, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (éditeur) 1982: Luftqualität im Belastungsgebiet Wetzlar, Wiesbaden
- HERZIG R., LIEBENDOERFER L. et URECH M. 1985: Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz. Teil 1: Methodenentwicklung in der Region Biel/Seeland. Licence Inst. Géobotanique de l'Université de Berne (manuscrit)

- IMHOF E. 1972: Thematische Kartographie, Reihe "Lehrbuch der Allgemeinen Geographie", Band 10, De Gruyter, Berlin
- INGENIEURGEMEINSCHAFT GRUNeko & BALZARI, BLASER, SCHUDEL 1977: Energiekonzept für die Stadt Bern, im Auftrag des Gemeinderates erstellt in Zusammenarbeit mit der verwaltungsinternen Arbeitsgruppe Energiekonzept für die Stadt Bern, Berne
- KIGA BERN, in prep: Schadstoffmessungen in Biel, durchgeführt von der Abteilung Lufthygiene des kantonalen Amtes für Industrie, Gewerbe und Arbeit (KIGA), Berne (titre de travail)
- KLIMA UND LUFTHYGIENE DER REGION BIEL-SEELAND, in prep.: Synthese-Bericht, vom Schweiz. Nationalfonds für die wissenschaftliche Forschung unterstützte Publikation, voraussichtlich Biel 1989
- LABORATOIRE CANTONAL 1985: Emissions d'oxydes d'azote lors de la combustion d'huile de chauffage extra-légère et de gaz naturel, Etude effectuée à la demande de l'Office fédéral de la protection de l'environnement, 12 septembre 1985, Epalinges (manuscrit)
- LISKA P., RICKLI R. et HERTIG J.A. 1984: Versuche auf dem Modell 1:25'000 zur Durchlüftungssituation in der Region Biel, IENER/EPFL et institut de Géographie de l'Université de Berne, Lausanne (manuscrit)
- MAEDER R. 1975: Schwefeldioxid-Emissionskataster für Zürich, SVG-Schriftenreihe Nr. 44, Separatdruck auf "Gesundheitstechnik", Nr. 12/Dezember 1975, BAG Brunner Verlag AG, Zürich
- MARTY H., H. KUEMMERLI, R.P. ZURBRUEGG, P. BERLINCOURT, P. FILLIGER, R. RICKLI, B. RICKLI, H. WANNER 1985: Der Einfluss meteorologischer und lufthygienischer Faktoren auf akute Erkrankungen der Atemwege bei Kindern - am Beispiel der Region Biel, Separatdruck der Schweiz. med. Wschr. 115, pages 1890-1899 (1985)
- MATHYS H., R. MAURER, B. MESSERLI, H. WANNER, M. WINIGER 1985: Klima und Lufthygiene im Raum Bern, Band 7, Resultate des Forschungsprogrammes KLIMUS und ihre Anwendung in der Raumplanung, Publications de la Commission de géographie, Société helvétique des sciences naturelles, Berne
- MAY H. et E. PLASSMANN 1973: Abgasemissionen von Kraftfahrzeugen in Grossstädten und industriellen Ballungsgebieten; Technischer Ueberwachungsverein (TUEV) Rheinland e.V.; Schriftenreihe Umweltschutz, Band 3; Carl Heymanns Verlag KG, Köln
- MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1975: Luftuntersuchungen im Raume Oberhausen-Duisburg-Mühlheim, Düsseldorf
- MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 1980: Luftreinhalteplan Ruhrgebiet Mitte 1980-84, Düsseldorf

- MINISTERIUM FUER ARBEIT, GESUNDHEIT UND SOZIALES DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN
1982: Luftreinhalteplan Rheinschiene Mitte 1982-1986, Luftreinhalteplan gemäss
Art. 47 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Düsseldorf
- MOLL WALTER L. It. 1978: Taschenbuch für Umweltschutz I: Chemische und technolo-
gische Informationen, 2. Auflage, UTB Steinkopff, Darmstadt
- NEFTEL A. 1987: Bericht über das vierte europäische Symposium "Physico-chemical
behaviour of atmospheric pollutants" in Stresa (Italien), 23.-25. September im
Rahmen der COST-Aktion 611. Forschung Aktuelle Nr. 8, Januar 1987, Bundesamt
für Bildung und Wissenschaft, Bern
- NEUE ZUERCHER ZEITUNG 130/1987: Parlamentarische Vorstösse, Einführung eines
Smog-Alarms? p. 21, Zürich
- OCDE 1981: Les coûts et avantages de la lutte contre les oxydes de soufre, une
étude méthodologique, OCDE, Paris, ISBN 92-64-22151-4
- OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 1982: Pollution de l'environ-
nement par des émanations de dioxines et de furanes des usines d'incinération
des ordures, Les cahiers de l'environnement no. 5, Berne
- OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT 1984: Réduction des vitesses
et émissions polluantes, Les cahiers de l'environnement no. 22, Berne, mars
1984
- OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE 1984: Délimitation des agglomérations en Suisse
1980, Contributions à la statistique suisse/105e fascicule, Berne
- OKE T.R. 1978: Boundary Layer Climates, Methuen & Co. Ltd, Londres, ISBN
0-416-70530-8
- PELLI T. 1976: Emissionskataster für Motorfahrzeuge in der Schweiz, Luftfremd-
stoffemissionen durch den Strassenverkehr 1970. Eidg. Amt für Umweltschutz,
Zürich, Bern, Januar 1976
- PELLI T. 1977 (1): Emissionskataster für Motorfahrzeuge in der Schweiz 1970,
Technische Beilage 1, Verkehr in den städtischen Agglomerationen, Datenermitt-
lung und theroretische Betrachtungen, Eidg. Amt für Umweltschutz, Zürich,
Bern, Mai 1977
- PELLI T. 1977 (2): Emissionskataster für Motorfahrzeuge in der Schweiz 1970,
Technische Beilage 3, Emissionscharakteristika, Eidg. Amt für Umweltschutz,
Zürich, Bern, Mai 1977
- PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT EN SUISSE 1/1985: Bulletin de l'Office fédéral de
la protection de l'environnement, Berne
- PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT EN SUISSE 2/1985: Bulletin de l'Office fédéral de
la protection de l'environnement, Berne

- RAT VON SACHVERSTAENDIGEN FUER UMWELTFRAGEN 1981: Energie und Umwelt, Sondergutachten, März 1981, Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart und Mainz
- RAT VON SACHVERSTAENDIGEN FUER UMWELTFRAGEN 1983: Waldschäden und Luftverunreinigungen. Sondergutachten März 1983, Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart & Mainz
- REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT UNTERMAIN 1977: Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain. Abschlussbericht, Dezember 1977, Frankfurt a.M.
- REGIONALPLANUNGSVERBAND 1984: Der regionale Richtplan, Bieler Tagblatt, Sonderdruck zum Richtplan der Region Biel-Seeland, Montag, 7. Mai 1984, Biel
- RICKLI B. 1984: Die Abhängigkeit der städtischen Oberflächen-Energiebilanz von ausgewählten Struktur-Parametern (Stadt Biel), licence Inst. Géogr. Univ. Berne, Berne (mauscrit)
- RICKLI R. 1982: Wind- und Temperaturfeld im Raum Biel während dem Winterhalbjahr 1980/81. Licence, Inst. Géogr. Univ. Berne, Berne (manuscrit)
- SEDE 1982: Verkehrsemissionen im Kanton Zürich, Untersuchung im Auftrag des Amtes für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, Zürich/Vevey
- SEINFELD J.H., 1986: Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John Wiley and Sons, New York
- SIA 381/3, 1982: Heizgradtage der Schweiz, SIA-Empfehlung 381/3, Ausgabe 1982, eingetragene Norm der Schweizerischen Normen-Vereinigung, Hrs.: Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich
- SNV 641 230, 1970: Courbes types de variations et trafic journalier moyen (TJM), élaboré et édité par l'Union suisse des professionnels de la route (VSS), Association suisse de normalisation, Zürich
- SULZER ENERGIECONSULTING AG 1985: Energiekonzept EKS; Zwischenbericht über Stand der Arbeiten (15.9.85), Liestal, 13 septembre 1985
- SCHUEPBACH E. 1984: Lufthygiene Biel, Statistische und computergestützte Auswertung von Immissionsdaten der Stadt Biel 1980-1982 und ihre Abhängigkeit von meteorologischen Parametern, travail de séminaire, Inst. Géogr. Univ. Berne, Berne (manuscrit)
- SCHUEPBACH E., in prep.: Untersuchungen zur Dynamik von photochemischem Smog über komplexer Topographie, licence, Inst. Géogr. Univ. Berne, Berne
- SCHWARZ J. et B. WICK 1985: Wärmeverbrauch des Wohnsektors, Zürich et Widen
- STADTPLANUNG BIEL 1983: Stadtplanerische Uebersicht, Juni 1983, Office d'urbanisme de la Ville de Bienne, Bienne

- STAEDTISCHE BAUDIREKTION BIEL 1983: Stellungnahme zum Variantenvergleich N5/T6, Biel, Dezember 1983
- STERN A.C., H.C. WOHLERS, R.W. BOUBEL et W.P. LOWRY 1973: Fundamentals of Air Pollution, Academic Press Inc., New York
- TA-LUFT 1974: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Erläuterte Ausgabe mit einer Einführung vom Bundesminister des Innern, Prof. Dr. Werner Maihofer, Carl Heymans Verlag KG, Köln, Berlin, Bonn, München
- TNO (Reinders M.E.) 1984: Handbook of emission factors, Part 2, Industrial sources, Government Publishing Office, The Hague, ISBN 90-12-04605X
- TROXLER K.H. et O. HELBLING 1981: Des maisons sous la loupe, SAGES, Société Romande d'Éditions, Genève
- TUROLLA F. 1982: Randwanderungsprozesse in der mittelstädtischen Region Biel, licence Inst. Géogr. Univ. Berne, Berne (manuscrit)
- VARIANTENVERGLEICH N5/T6 BIEL 1981: Bericht der Fachkommission über die Ergebnisse des "Feinverfahrens", Text, August 1981
- VARIANTENVERGLEICH N5/T6 1982: Der Schwerverkehr in der Region Biel, Variantenvergleich N5/T6, Zusatzbericht, revidiert 22. Juni 1982 (manuscrit)
- VOLKSWIRTSCHAFTSDEPARTEMENT DES KANTONS SOLOTHURN 1984: Ausstoss von Luftverunreinigungen im Kanton Solothurn, Basis 1980, Arbeitsgemeinschaft Mädler u. Pelli, Kantonales Arbeitsinspektorat, Soleure
- WANNER H., P. BERLINCOURT, R. RICKLI 1982: Klima und Lufthygiene der Region Biel - Gedanken und erste Resultate aus einer interdisziplinären Studie. Geographica Helvetica 4, 215-224.
- WANNER H. et J.A. HERTIG 1984: Urban Climatology and climatological properties of small cities in complex terrain (Switzerland). J. of Climate and applied Meteor., 23, 1614-1625.
- WANNER H. et al. 1985: Klimatologisch-lufthygienische Untersuchung in der Region Biel-Seeland: Fragenkataloge an die Forschergruppen zu den Themen Energiekonzept und Verkehr. Document de travail, Inst. Géogr. Univ. Berne, Berne (manuscrit)
- WEBER R. (rédacteur) 1984: Energie, Les résultats de 27 projets. Rapport final du programme national de recherche "Recherche et développement dans le domaine de l'énergie". Editions Georgi, St-Saphorin, ISBN 2-604-00069-5
- WICK B. 1983: Energiekennzahlen der häufigsten Gebäudetypen, Auswertung von Energiekennzahl-Erhebungen in der Schweiz. Stand Sommer 1983. Schweiz. Aktion Gemeinsinn für Energiesparen, Widen/AG

ZINGG M. et al. (in prep.): Protokoll des Erfahrungsaustausches über die Erstellung eines Emissionskatasters, 17.2.1986 in Bern, Kantonales Laboratorium Schaffhausen (manuscrit)

QUESTIONNAIRE EMISSION & ENERGIE

Pour tout renseignement complémentaire, adressez-vous à:

Institut de Géographie de
l'Université de Berne
Dépt. Prof. B.Messerli
à l'att. de M.Berlincourt
Hallerstr. 12
3012 BERNE tel:031/65 88 81

PARTIE I ADRESSE DE L' ENTREPRISE

Secteur industriel Code OFIAMT Entreprise
Rue et numéro Numéro postal Commune
11 Ces données sont-elles exactes? Corrections:

12 Votre entreprise est-elle implantée ailleurs (dans la région Bienne-Seeland) ? OUI NON
Si oui, pourriez-vous nous indiquer l'adresse de ces autres établissements?
Rue et numéro Numéro postal Commune
.....
.....
Pour ces autres établissements, veuillez nous demander des questionnaires supplémentaires.

13 Si d'autres questions importantes concernant votre entreprise devaient se poser, à qui pourrions-nous nous adresser?
Monsieur, Madame Téléphone

PARTIE II CONSOMMATION D' ENERGIE EN 1980 (analogue au questionnaire de l'UCE)

remplir, s.v.p.

Source d'énergie	Quantité et unités	laisser en blanc		Liaison du soufre (charbon et procédés thermiques)
		Conversion en TJ	en % de la consommation	
21 COMBUSTIBLES				
2101 Huile légère				
2102 Huile moyenne et lourde				
2103 Huile Diesel (installations stationnaires)				
210 TOTAL DES HUILES				
211 Charbon et coke				
212 Gaz				
213 Autres combustibles				
2131 Incinération d'ordures				
2132				
21 TOTAL DES COMBUSTIBLES				
22 ELECTRICITE				
221 du réseau officiel				
222 de la production propre				
22 TOTAL DE L'ELECTRICITE				
23 AUTRES SOURCES D'ENERGIE				
231 Chaleur du chauffage à distance				
232				
23 TOTAL DES AUTRES FORMES D'ENERGIE				
24 CONSOMMATION TOTALE D'ENERGIE 1980 (21+22+23)			100 %	

PARTIE III PREVISIONS POUR 1985

31 Comment évoluera, à votre avis, la consommation totale d'énergie utilisée par votre entreprise jusqu'en 1985? (en admettant que la situation économique ne se modifie pas)
 en diminution stable en augmentation

32 Pourriez-vous exprimer la consommation totale d'énergie présumée pour 1985 en pourcents de celle de 1980?
 Consommation 1985 : %

33 Pourriez-vous indiquer dans le tableau ci-dessous l'évolution de chaque source d'énergie dans votre entreprise jusqu'en 1985?

Source d'énergie	Diminution en %	Augmentation en %	Reste stable (marquer d'une croix)
331 Huiles (légères, moyennes, lourdes, Diesel)			
332 Charbon/Coke			
333 Gaz			
334 autres combustibles			
335 Electricité			
336 autres sources d'énergie			

Pour 334, autres combustibles, et 336, autres sources d'énergie, préciser lesquels.

PARTIE IV CHALEUR PERDUE

41 Votre entreprise déverse-t-elle de la chaleur perdue dans l'eau? OUI NON

Si oui, pourriez-vous indiquer la quantité d'eau utilisée annuellement et les températures de l'eau de refroidissement?

411 Quantité annuelle d'eau de refroidissement m³/an

412 Température d'entrée de l'eau °C

413 Température de sortie de l'eau °C

42 Votre entreprise rejette-t-elle de la chaleur sous forme d'air chaud ou de gaz d'échappement dans l'atmosphère? OUI NON

Si oui, pourriez-vous indiquer le volume d'air utilisé annuellement et la température de sortie de l'air?

421 Volume annuel d'air de refroidissement m³/an

422 Température de sortie de l'air °C

43 Prendrez-vous, jusqu'en 1985, des mesures pour diminuer les pertes de chaleur dans votre entreprise? OUI NON

Si oui, pourriez-vous estimer les quantités d'eau et d'air utilisées pour le refroidissement en 1985?

431 Quantité d'eau de refroidissement en 1985 m³/an

432 Quantité d'air de refroidissement en 1985 m³/an

44 Prendrez-vous, jusqu'en 1985, des mesures pour utiliser la chaleur produite dans votre entreprise? OUI NON

Si oui, pourriez-vous indiquer quelle quantité de chaleur sera utilisée en 1985?

441 Quantité de chaleur unité

45 Seriez-vous intéressé à utiliser de la chaleur produite par d'autres entreprises? OUI NON

Si oui, quelle quantité de chaleur, et à quelle température d'entrée?

451 Quantité de chaleur nécessaire unité

452 Température d'entrée souhaitée °C

PARTIE V EMISSION DE POLLUANTS DURANT LE PROCEDE DE PRODUCTION

51 Peu de données établies existent actuellement sur les émissions de polluants durant la production. C'est pourquoi nous vous serions très reconnaissants, si vous pouviez, de par votre expérience et vos connaissances de l'entreprise, nous donner quelques renseignements sur les procédés émettant des polluants atmosphériques (gaz et poussières) dans votre entreprise.

Produit fabriqué ou procédé de production	Production annuelle (+ unité)	facteur d'émission estimé %/oo				
		SO ₂	NO _x	HC	autres gaz et vapeurs organiques anorganiques	poussières et particules

SO₂ = Dioxyde de soufre, NO_x = Oxydes d'azotes, HC = Hydrocarbures en général

52 Prendrez-vous, jusqu'en 1985, des mesures pour diminuer ces émissions? OUI NON

Si oui, 521 Quelles quantités seront encore émises en 1985?
 Gaz, vapeur ou particule émis quantité émise ou facteur d'émission

522 Quelles mesures permettent cette réduction?

Pour tout renseignement complémentaire, veuillez vous adresser à:

Institut de Géographie
 Cadastre des émissions
 Pérolles
 1700 FRIBOURG tel 037 82 63 11

PARTIE I
 GENERALITES

11 Secteur industriel Code OFIAMT

 Entreprise
 Rue et numéro N° postal Commune

12 Votre entreprise est-elle implantée ailleurs dans le canton de Fribourg? OUI NON
 Si oui, pourriez-vous nous indiquer l'adresse de ces établissements?
 Rue et numéro N° postal

 Commune
 Pour ces établissements, veuillez nous demander des questionnaires supplémentaires

13 Quel est l'effectif actuel de votre entreprise?
 effectif total:

 personnes, dont

 hommes et femmes
 exploitation:

 hommes et femmes

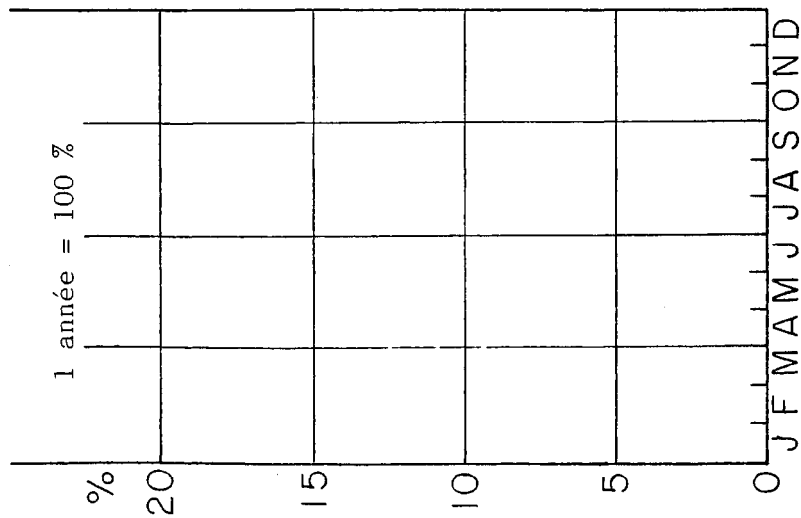
14 Y a-t'il dans votre entreprise des vacances à une date régulière? OUI NON
 Si oui, à quelle époque et pour quelle durée?
 Dates approximatives: 1. durée

 jours
 2.
 3.

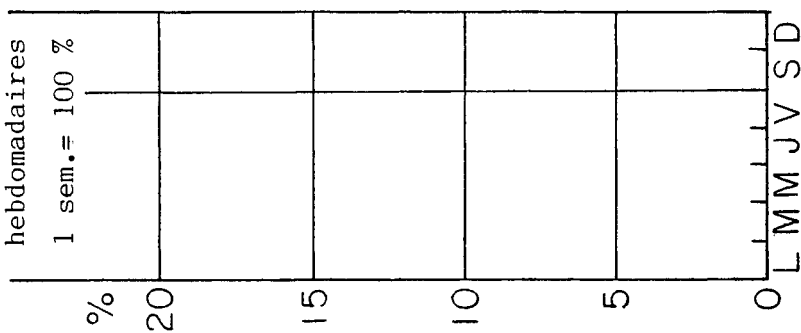
15 Si d'autres questions importantes devaient se poser, à qui pourrions-nous adresser?
 Monsieur, Madame Téléphone

30 La consommation d'énergie de votre entreprise est vraisemblablement soumise à des variations au cours de l'année, de la semaine ou de la journée. Pourriez-vous reporter approximativement ces variations dans les diagrammes ci-dessous, en y distinguant les différentes sources d'énergie?

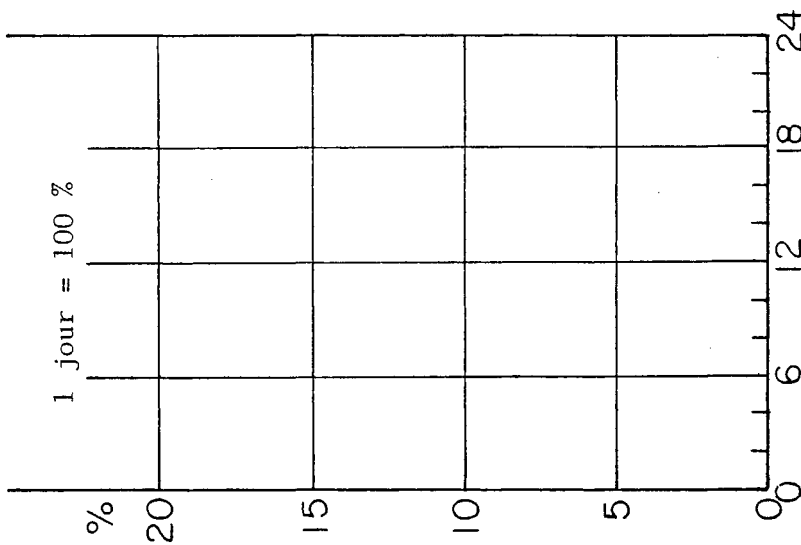
301 Variations annuelles



302 Variations hebdomadaires



303 Variations journalières



304 Légende

- =
- =
- =
- =
- =
- =

Remarque: Si la consommation est constante:
 1 mois = 8.33 %
 1 jour = 14.3 %
 1 heure = 4.17 %

31 Les variations annuelles de la consommation d'énergie de chauffage peuvent-elles être calculées selon la méthode des degrés-jours? OUI NON

310 Si non, comment les exprimeriez-vous?

PARTIE IV EMISSION DE POLLUANTS DURANT LA PRODUCTION

41 Peu de données établies existent actuellement sur les émissions de polluants durant la production. C'est pourquoi nous vous serions très reconnaissants si vous pouviez, de par votre expérience et vos connaissances de l'entreprise, nous donner quelques renseignements sur le (ou les) processus de fabrication utilisé(s) dans votre entreprise?

processus de fabrication	produit fabriqué	quantité fabriquée par année	Autres produits utilisés lors de ce processus	quantité utilisée par année	émissions connues, mesurées, estimées ou supposées

42. Parmi ces processus, y-a-t'il des processus thermiques? OUI NON

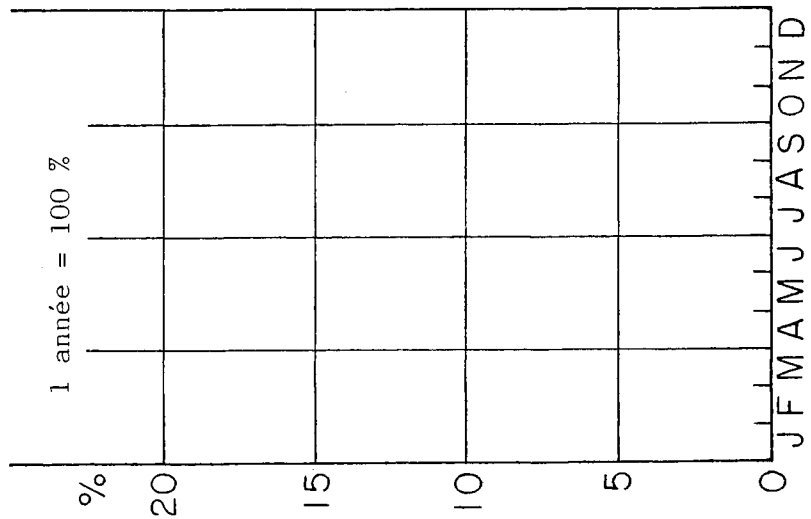
420 Si oui, l'énergie utilisée pour ces processus est-elle mentionnée dans la partie II de ce questionnaire? OUI NON

Si non, pourriez-vous effectuer les corrections nécessaires, s'il vous plaît?

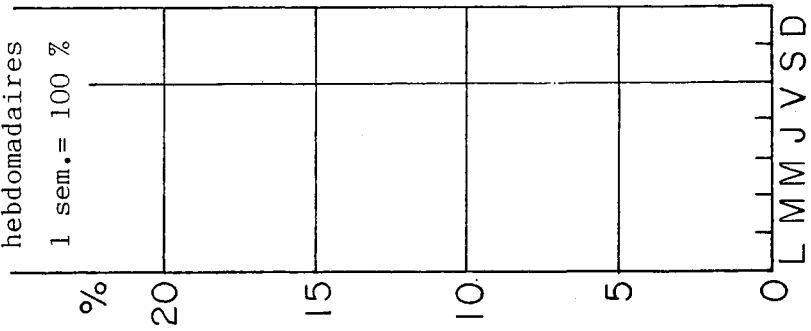
PARTIE V VARIATIONS TEMPORELLES DE LA PRODUCTION

50 Indépendamment de la conjoncture, la production de votre entreprise est vraisemblablement soumise à des variations au cours de l'année, de la semaine ou de la journée. Pourriez-vous reporter approximativement ces variations dans les diagrammes ci-dessous, en y distinguant les différents processus?

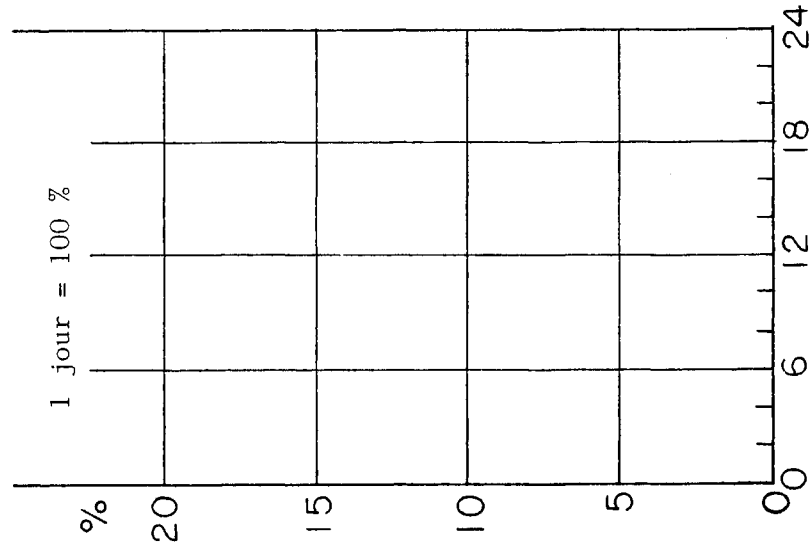
501 Variations annuelles



502 Variations hebdomadaires



503 Variations journalières



504 Légende

- =
- =
- =
- =
- =
- =

Remarque: si la consommation est constante:

- 1 mois = 8.33 %
- 1 jour = 14.3 %
- 1 heure = 4.17 %

PARTIE VI PREVISIONS QUANT A L'ENERGIE ET L'EMISSION

61 Envisagez-vous d'ici cinq ans des modifications énergétiques, que ce soit au niveau de la consommation ou au niveau des sources d'énergie? OUI NON

610 Si oui, pourriez-vous préciser ces modifications dans le tableau ci-dessous?

Source d'énergie	consommation d'énergie augmentation	diminution	cause de cette modification

62 Dans le domaine de la production, envisagez-vous d'ici cinq ans des modifications susceptibles d'influencer les émissions de votre entreprise? OUI NON

620 Si oui, pourriez-vous préciser ces modifications dans le tableau ci-dessous?

processus de fabrication	modification de l'émission augmentation	diminution	cause de cette modification

GEOGRAPHICA BERNENSIA



Arbeitsgemeinschaft GEOGRAPHICA BERNENSIA
Hallerstrasse 12
CH-3012 Bern

GEOGRAPHISCHES INSTITUT
der Universität Bern

A	<u>AFRICAN STUDIES</u>	Sfr.
A 1	WINIGER Matthias (Editor): Mount Kenya Area - Contributions to Ecology and Socio-economy. 1986 ISBN 3-906290-14-X	20.--
A 2	SPECK Heinrich: Mount Kenya Area. Ecological and Agricultural Significance of the Soils - with 2 maps. 1983 ISBN 3-906290-01-8	20.--
A 3	LEIBUNDGUT Christian: Hydrogeographical map of Mount Kenya Area. 1 : 50'000. Map and explanatory text. 1986 ISBN 3-906290-22-0	28.--
A 4	WEIGEL Gerolf: The soils of the Maybar/Wello area. Their potential and constraints for agricultural development. A case study in the Ethiopian Highlands. 1986 ISBN 3-906290-29-8	18.--
A 5	KOHLER Thomas: Land use in transition. The case of Laikipia District, Kenya. Aspects and problems of smallscale farming in a new environment. 1987 ISBN 3-906290-23-9	1988
A 6	FLURY Manuel: Rain-fed agriculture in Central Division (Laikipia District, Kenya). Suitability, constraints and potential for providing food. 1987 ISBN 3-906290-38-7	1988
B	<u>BERICHTE UEBER EXKURSIONEN, STUDIENLAGER UND SEMINARVERANSTALTUNGEN</u>	
B 1	AMREIN Rudolf: Niederlande - Naturräumliche Gliederung, Landwirtschaft Raumplanungskonzept. Amsterdam, Neulandgewinnung, Energie. Feldstudienlager 1976. 1979	5.--
B 6	GROSJEAN Georges (Herausgeber): Bad Ragaz 1983. Bericht über das Feldstudienlager des Geographischen Instituts der Universität Bern. 1984 ISBN 3-906290-18-2	18.--
B 7	Peloponnes. Feldstudienlager 1985. Leitung/Redaktion: Attinger R., Leibundgut Ch., Nägeli R. 1986 ISBN 3-906290-30-1	21.--
B 8	AERNI K., NAEGELI R., THORMANN G. (Hrsg.): Das Ruhrgebiet. Ein starkes Stück Deutschland. Probleme des Strukturwandels in einem "alten" Industrieraum. Bericht des Feldstudienlagers 1986. 1987 ISBN 3-906290-36-0	20.--
G	<u>GRUNDLAGENFORSCHUNG</u>	
G 1	WINIGER Matthias: Bewölkungsuntersuchung über der Sahara mit Wettersatellitenbilder. 1975	10.--
G 3	JEANNERET François: Klima der Schweiz: Bibliographie 1921 - 1973; mit einem Ergänzungsbericht von H. W. Courvoisier. 1975	10.--
G 4	KIENHOLZ Hans: Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1 : 10'000 von Grindelwald, mit einem Beitrag von Walter Schwarz. 1977	36.--

			Sfr.
G 6	JEANNERET F., VAUTHIER Ph.: Kartierung der Klimaeignung für die Landwirtschaft der Schweiz. 1977 Levé cartographique des aptitudes climatiques pour l'agriculture en Suisse.	Textband Kartenband	20.-- 36.--
G 7	WANNER Heinz: Zur Bildung, Verteilung und Vorhersage winterlicher Nebel im Querschnitt Jura - Alpen. 1978		20.--
G 8	Simen Mountains-Ethiopia, Vol. 1: Cartography and its application for geographical and ecological Problems. Ed. by Messerli B. and Aerni K. 1978		27.--
G 9	MESSERLI B., BAUMGARTNER R. (Hrsg.): Kamerun. Grundlagen zu Natur und Kulturraum. Probleme der Entwicklungszusammenarbeit. 1978		red. Preis 43.-- 15.--
G 11	HASLER Martin: Der Einfluss des Atlasgebirges auf das Klima Nordwestafrikas. 1980.	ISBN 3-26004857 X	15.--
G 12	MATHYS H. et al.: Klima und Lufthygiene im Raume Bern. 1980		15.--
G 13	HURNI H., STAEHLI P.: Hochgebirge von Semien-Aethiopien Vol. II. Klima und Dynamik der Höhenstufung von der letzten Kaltzeit bis zur Gegenwart. 1982		24.--
G 14	FILLIGER Paul: Die Ausbreitung von Luftschadstoffen - Modelle und ihre Anwendung in der Region Biel. 1986	ISBN 3-906290-25-5	20.--
G 15	VOLZ Richard: Das Geländeklima und seine Bedeutung für den landwirtschaftlichen Anbau. 1984	ISBN 3-906290-10-7	27.--
G 16	AERNI K., HERZIG H. E. (Hrsg.): Bibliographie IVS 1982. Inventar historischer Verkehrswege der Schweiz. (IVS). 1983		250.--
G 16	id. Einzelne Kantone (1 Ordner + Karte)		je 15.--
G 17	IVS Methodik		in Vorbereitung
G 18	AERNI K., HERZIG H. E. (Hrsg.): Historische und aktuelle Verkehrsgeographie der Schweiz. 1986	ISBN 3-906290-27-1	28.--
G 19	KUNZ Stefan: Anwendungsorientierte Kartierung der Besonnung im regionalen Massstab. 1983	ISBN 3-906290-03-4	16.--
G 20	FLURY Manuel: Krisen und Konflikte - Grundlagen, ein Beitrag zur entwicklungs- politischen Diskussion. 1983	ISBN 3-906290-05-0	5.--
G 21	WITMER Urs: Eine Methode zur flächendeckenden Kartierung von Schneehöhen unter Berücksichtigung von reliefbedingten Einflüssen. 1984	ISBN 3-906290-11-5	20.--
G 22	BAUMGARTNER Roland: Die visuelle Landschaft - Kartierung der Ressource Landschaft in den Colorado Rocky Mountains (U.S.A.). 1984	ISBN 3-906290-20-4	28.--
G 23	GRUNDER Martin: Ein Beitrag zur Beurteilung von Naturgefahren im Hinblick auf die Erstellung von mittelmassstäbigen Gefahrenhinweiskarten (Mit Beispielen aus dem Berner Oberland und der Landschaft Davos). 1984	ISBN 3-906290-21-2	36.--
G 25	WITMER Urs: Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. 1986	ISBN 3-906290-28-X	21.--
G 26	BICHSEL Ulrich: Periphery and Flux: Changing Chandigarh Villages. 1986	ISBN 3-906290-32-8	18.--

sFr.

- G 27 JORDI Ulrich: Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch (Ostschweiz/Vorarlberg). 1987 ISBN 3-906290-34-4 28.--
- G 28 BERLINCOURT Pierre: Les émissions atmosphériques de l'agglomération de Bienne: une approche géographique. 1988 ISBN 3-906290-40-9 24.--
- P GEOGRAPHIE FUER DIE PRAXIS
-
- P 2 UEHLINGER Heiner: Räumliche Aspekte der Schulplanung in ländlichen Siedlungsgebieten. Eine kulturgeographische Untersuchung in sechs Planungsregionen des Kantons Bern. 1975 25.--
- P 3 ZAMANI ASTHIANI Farrokh: Province East Azarbayejan - IRAN, Studie zu einem raumplanerischen Leitbild aus geographischer Sicht. Geographical Study for an Environment Development Proposal. 1979 24.--
- P 4 MAEDER Charles: Raumanalyse einer schweizerischen Grossregion. 1980 18.--
- P 5 Klima und Planung 79. 1980 15.--
- P 7 HESS Pierre: Les migrations pendulaires intra-urbaines à Berne. 1982 10.--
- P 8 THELIN Gilbert: Freizeitverhalten im Erholungsraum. Freizeit in und ausserhalb der Stadt Bern - unter besonderer Berücksichtigung freiräumlichen Freizeitverhaltens am Wochenende. 1983 ISBN 3-906290-02-6 10.--
- P 9 ZAUGG Kurt Daniel: Bogota-Kolumbien. Formale, funktionale und strukturelle Gliederung. Mit 50-seitigem Resumé in spanischer Sprache. 1984 ISBN 3-906290-04-2 18.--
- P 12 KNEUBUEHL Urs: Die Entwicklungssteuerung in einem Tourismusort. Untersuchung am Beispiel von Davos für den Zeitraum 1930 - 1980. 1987 ISBN 3-906290-08-5 25.--
- P 13 GROSJEAN Georges: Aesthetische Bewertung ländlicher Räume. Am Beispiel von Grindelwald im Vergleich mit anderen schweizerischen Räumen und in zeitlicher Veränderung. 1986 ISBN 3-906290-12-3 35.--
- P 14 KNEUBUEHL Urs: Die Umweltqualität der Tourismusorte im Urteil der Schweizer Bevölkerung. 1987 ISBN 3-906290-35-2 12.50
- P 15 RUPP Marco: Stadt Bern: Entwicklung und Planung in den 80er Jahren. Ein Beitrag zur Stadtgeographie und Stadtplanung. 1988 ISBN 3-906290-07-7 30.--
- P 16 MESSERLI B. et al.: Umweltprobleme und Entwicklungszusammenarbeit. Entwicklungspolitik in weltweiter und langfristig ökologischer Sicht. Red.: B. Messerli, T. Hofer. 1988 ISBN 3-906290-39-5 1988

S GEOGRAPHIE FUER DIE SCHULE

- S 4 AERNI Klaus et al.: Die Schweiz und die Welt im Wandel. Teil I: Arbeitshilfen und Lernplanung (Sek.-Stufe I + II). 1979 8.--
- S 5 AERNI Klaus et al.: Die Schweiz und die Welt im Wandel. Teil II: Lehrerdokumentation. 1979 28.--
- S 4 und S 5: Bestellung richten an:
Staatl. Lehrmittelverlag, Güterstr. 13, 3008 Bern
- S 6 AERNI Klaus: Geographische Praktika für die Mittelschule - Zielsetzung und Konzepte in Vorbereitung
- S 7 BINZEGGER R., GRUETTER E.: Die Schweiz aus dem All. Einführungspraktikum in das Satellitenbild. 1981 (2. Aufl. 1982) 10.--

		sFr.
S 8	AERNI K., STAUB B.: Landschaftsökologie im Geographieunterricht. Heft 1. 1982	9.--
S 9	GRUETTER E., LEHMANN G., ZUEST R., INDERMUEHLE O., ZURBRIGGEN B., ALTMANN H., STAUB B.: Landschaftsökologie im Geographieunterricht. Heft 2: Vier geographische Praktikumsaufgaben für Mittelschulen. (9. - 13. Schuljahr) - Vier landschaftsökologische Uebungen. 1982	12.--
S 10	STUCKI Adrian: Vulkan Dritte Welt. 150 Millionen Indonesier blicken in die Zukunft. Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II. 1984 ISBN 3-906290-15-8	
	Lehrerheft	24.--
	Schülerheft	1.60
	Klassensatz	12.--
S 11	AERNI K., THORMANN G.: Lehrerdokumentation Schülerkarte Kanton Bern. 1986 ISBN 3-906290-31-X	9.--
S 12	BUFF Eva: Das Berggebiet. Abwanderung, Tourismus - regionale Disparitäten. Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II. 1987 ISBN 3-906290-37-9	
	Lehrerheft	20.--
	Schülerheft	2.--
	Gruppenarbeiten	10.--
	65 Dias	70.--
	Tonband	7.--
U	<u>SKRIPTEN FUER DEN UNIVERSITAETSUNTERRICHT</u>	
U 1	GROSJEAN Georges: Die Schweiz. Der Naturraum in seiner Funktion für Kultur und Wirtschaft. 1985 (3. Auflage)	10.--
U 5	GROSJEAN Georges: Die Schweiz. Städte. 1985 (2. Auflage) ISBN 3-906290-17-5	16.--
U 8	GROSJEAN Georges: Geschichte der Kartographie. 1984 (2. Auflage) ISBN 3-906290-16-7	32.--
U 9	GROSJEAN Georges: Kartographie für Geographen I. 1984	vergriffen
U 10	GROSJEAN Georges: Kartographie für Geographen II. Thematische Kartographie. 1981 (Nachdruck)	14.--
U 11	FREI Erwin: Agrarpedologie. Eine kurzgefasste Bodenkunde. Ihre Anwendung in der Landschaft, Oekologie und Geographie. 1983 ISBN 3-906290-13-1	27.--
U 13	MESSERLI B., WINIGER M.: Probleme der Entwicklungsländer. Seminarbericht. 1977	18.--
U 17	MESSERLI B., BISAZ A., LAUTERBURG A.: Entwicklungsstrategien im Wandel. Ausgewählte Probleme der Dritten Welt. Seminarbericht. 1985	10.--
U 18	LAUTERBURG Andreas (Hrsg.): Von Europa Lernen? - Beispiele von Entwicklungs- mustern im alten Europa und in der Dritten Welt. 1987 ISBN 3-906290-33-6	22.50

Transparent 1: Nomenclature

