



Cours de pollution atmosphérique

Inventaires d'émissions

Stéphanie Lacour

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement Atmosphérique.
6-8 Avenue Blaise Pascal, Cité Descartes, 77455 Champs sur Marne.
Tel : (33) 1 64 15 21 45
Fax : (33) 1 64 15 21 70.

Table des matières

Introduction sur les inventaires d'émissions	3
1 Principe de l'élaboration de l'inventaire	7
2 Les substances	9
2.1 Introduction	9
2.2 Les différents types de polluants	10
2.2.1 Les polluants réglementés	10
2.2.2 Les composés organiques	10
2.2.3 Les métaux lourds :	13
2.2.4 Les particules	14
2.2.5 Les Chlorofluorocarbones	14
2.2.6 La spéciation chimique	15
2.3 Les effets des différentes substances	16
2.3.1 Effet de serre et changement climatique : échelle mondiale	16
2.3.2 Destruction de la couche d'ozone : échelle mondiale	19
2.3.3 Acidification, eutrophisation et photochimie : échelle régionale/continentale	19
2.3.4 L'eutrophisation	19
2.3.5 Les pluies acides	19
2.3.6 Les pics d'ozone	20
2.3.7 Effets sur les matériaux	21
2.3.8 Effets sur les écosystèmes : forêt, réserve d'eau douce	21
2.3.9 Effets sur la santé	21
3 Les différents types d'émetteurs	24
3.1 Les types d'émetteurs	24
3.1.1 Les sources non-anthropiques ou naturelles	24
3.1.2 Les sources anthropiques	24
3.2 La nomenclature Corinair	25
4 Spatialisation et aspect temporel	27
4.1 L'échelle spatiale	27
4.2 L'échelle de temps	28

5	Les inventaires réglementaires et Corinair	31
5.1	Les grandes conventions mondiales sur l'environnement	31
5.1.1	La convention sur la pollution transfrontière longue distance	31
5.1.2	La convention sur le changement climatique	32
5.1.3	La convention sur la protection de la couche d'ozone	33
5.2	Historique de la méthodologie de calcul des émissions	34
5.2.1	Le projet MAP	34
5.2.2	L'inventaire DGXI	34
5.2.3	Le programme CORINE	35
5.2.4	Le programme EMEP	35
5.2.5	Le programme IPCC/OECD/IEA sur l'effet de serre	36
5.2.6	Le Toxics Release Inventory (TRI) de l'EPA des Etats-Unis	37
5.3	Les instances européennes	37
5.3.1	L'Agence Européenne de l'Environnement - E.E.A.	37
5.3.2	Le Centre Européen de l'Air et du Changement Climatique	38
5.3.3	La commission européenne, DG Environnement	38
	Glossaire	39
.1	Les programmes internationaux	39
.2	Les structures européennes et internationales sur l'environnement	40
.3	Les sources d'informations et nomenclature	42
.4	Glossaire des polluants	42
.5	Facteurs d'émissions des transports routiers	43

Introduction sur les inventaires d'émissions

Pour mieux connaître et maîtriser la pollution de l'air, il est nécessaire de savoir quelles sont les sources de pollution, de les identifier et les quantifier. Cette connaissance permet ensuite de prendre des mesures de réduction des émissions à la source. Les inventaires d'émissions sont également une donnée de base nécessaire pour réaliser des évaluations de qualité de l'air et estimer les impacts de cette pollution sur la santé, les écosystèmes ...

Signée en 1979, la convention de Genève sur la pollution atmosphérique à longue distance a été l'élément déclencheur des réflexions et tentatives pour organiser et structurer les données relatives aux rejets de polluants sous la forme d'inventaires d'émissions de polluant. Cette dynamique a ensuite été relayée par un programme de la Commission Européenne Corinair, qui a permis de générer le premier inventaire d'émission Corinair. Mais qu'est-ce qu'un inventaire d'émission exactement ?

Définition

Un **inventaire d'émission** est une évaluation de la quantité d'une substance polluante émise par un émetteur donnée pour une zone géographique et une période de temps donnée.

On parle également de cadastres d'émission. Dans ce cas, il s'agit d'inventaires d'émission qui ont été spatialisés sur une grille d'espace et souvent découpés en plusieurs tranches de temps.

Structure en 4 composantes

Le contenu de l'inventaire dépend de son objectif final. Cependant, on retrouve toujours les 4 composantes qui structurent quasiment tous les inventaires d'émissions.

- Substances
- Echelle d'espace
- Echelle de temps
- Emetteurs

Cette structure est celle retenue pour tous les inventaires réglementaires d'émissions, dont voici les principaux :

- **UNFCCC/CRF** :
format relatif à la convention cadre sur les changements climatiques. 10 substances - Métropole, DOM et TOM - Annuel et chaque année depuis 1990 - Pas d'identification d'émetteurs.
- **UNECE** :
format relatif à la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance (21 substances - Métropole - Annuel et chaque année depuis 1980 ou 1988 ou 1990 selon les substances - Pas d'identification d'émetteurs).
- **SECTEN** :
format relatif aux acteurs économiques traditionnels (28 substances - Métropole + DOM-TOM (depuis 1990) - Annuel et chaque année (depuis 1960 ou 1980 ou 1988 ou 1990 selon les substances) - 7 secteurs).
- **EMEP** :
format relatif à la grille EMEP (50 x 50 km) dans le cadre de la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance (20 substances - grille de 50*50 km pour la métropole - Annuel pour 1995 et périodicité quinquennale - découpage SNAP (voir chapitre émetteurs)).
- **PRQA** :
format proche du type SECTEN relatif aux Plans Régionaux de Qualité de l'Air appliqué aux arrondissements (NUTS 4) et aux unités urbaines de plus de 100 000 habitants (6 substances - NUTS4 pour la métropole et DOM - Annuel et année 1994 seulement).

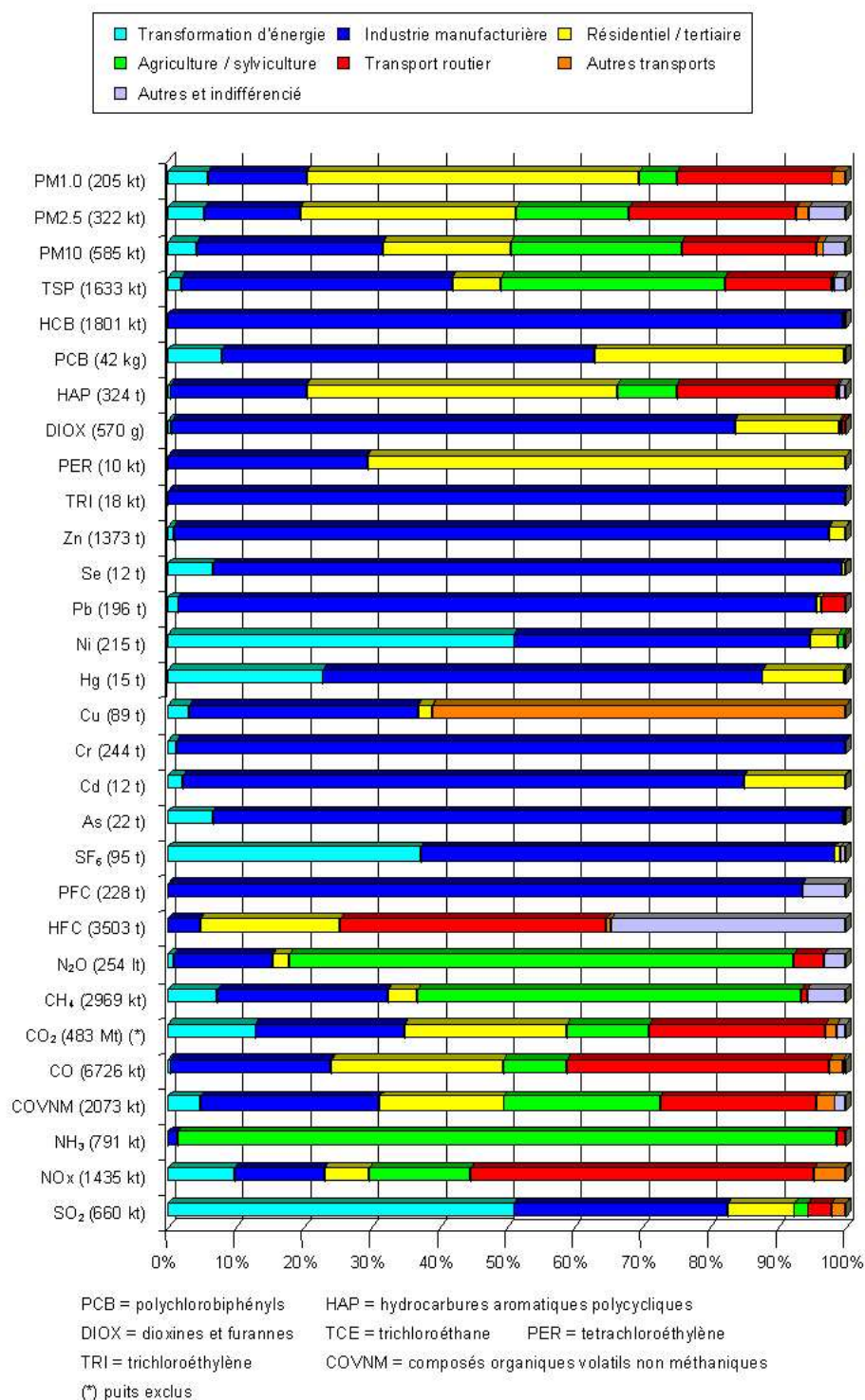
L'inventaire d'émission permet d'avoir une information quantitative sur les rejets de polluants pour :

- informer les décideurs et le public
- définir les priorités environnementales et les acteurs majoritairement responsables des problèmes
- fixer des objectifs et contraintes en matière de réduction des émissions
- évaluer des impacts environnementaux
- évaluer l'effet de différentes stratégies pour combattre les impacts
- faire l'analyse coût/bénéfice des décisions politiques
- surveiller l'état de l'environnement
- surveiller l'action politique et le respect des objectifs.

Le choix du format de l'inventaire dépend de l'objectif final retenu, qui permet de définir en général les substances, l'échelle de temps, d'espace...

Dans le chapitre suivant, nous présenterons le principe d'élaboration d'un inventaire d'émissions. Ensuite, un chapitre sera consacré à chance des composantes d'un inventaire d'émission : dans le chapitre relatif aux substances, nous présenterons les différentes familles de polluants et nous verrons les différents effets de ces substances. Nous verrons ensuite les différents types d'émetteurs et la nomenclature conventionnelle pour les distinguer. La méthode utilisée pour spatialiser et temporaliser des données d'émission sera ensuite présentée. Nous présenterons enfin l'historique des inventaires d'émission en retraçant l'évolution des bilans d'émissions réalisées au cours des deux dernières décennies.

**DISTRIBUTION SECTORIELLE DES EMISSIONS FRANCE
METROPOLITAINE 2000**



CITEPA février 2002 - CORALIE format SECTEN

FIG. 1 – Exemple d’inventaire : inventaire SECTEN (source CITEPA) - Espace : France, Temps : Année, Substances : 12, Emetteurs : secteurs

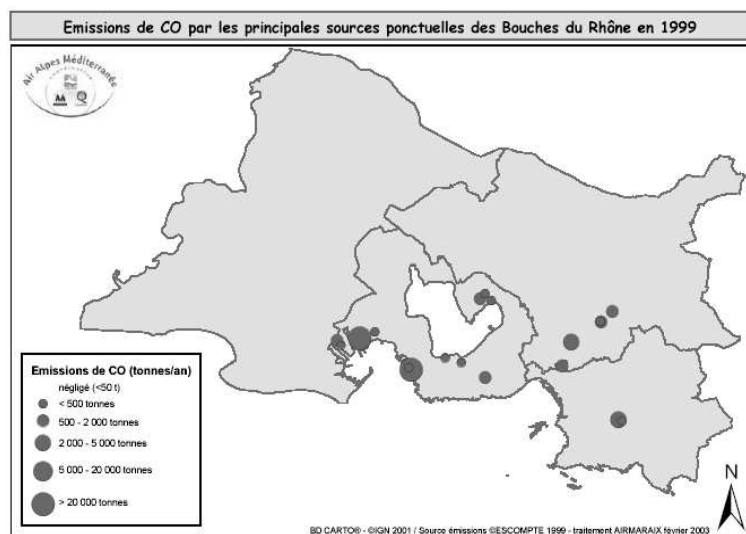


FIG. 2 – Exemple d’inventaire des sources ponctuelles de CO dans le département des Bouches du Rhône en 1999 - sources Airmarax

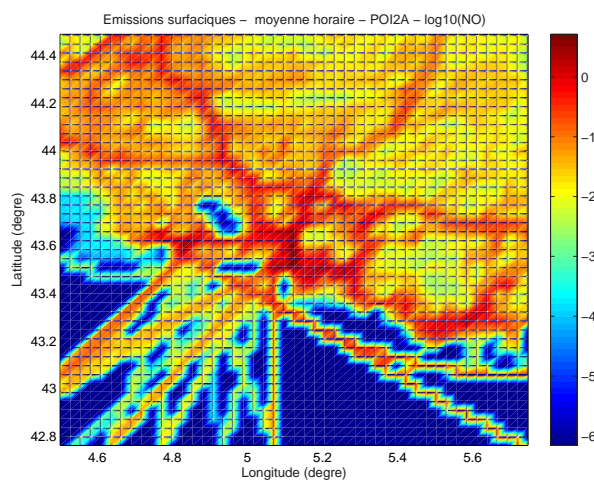


FIG. 3 – Exemple de cadastre des émissions surfaciques de NOx dans la région marseillaise

Chapitre 1

Principe de l'élaboration de l'inventaire

Le principe méthodologique général repose sur l'équation de base :

$$E = A * Fem$$

où E est l'émission (ou flux d'émission)

A est l'activité des émetteurs

Fem est un facteur unitaire d'émission

Pourquoi exprimer l'émission sous la forme d'un produit et non pas directement ? Bien souvent, l'émission d'un procédé dépend de l'activité qu'il réalise. Par exemple, l'émission d'une centrale thermique va dépendre de son régime de fonctionnement : en période d'activité réduite comme en été, elle émettra moins que lorsqu'elle fonctionne à plein régime. Il est plus simple et plus contrôlable de définir un facteur d'émission à fonction réduite et un facteur d'émission en pleine charge. Du point de vue de chaque procédé, il est également plus logique de considérer que les émissions sont relatives à des régimes de fonctionnement regroupés sous la dénomination activité.

De plus, cela permet de prendre en compte des variations d'activités au cours du temps, ce qui est important notamment pour l'étude de scénario d'émission. Par exemple, pour le trafic automobile, les Etats Européens ont pris des dispositions réglementaires de façon à limiter les émissions automobiles à la source (introduction des catalyseurs). Mais dans le même temps, l'activité (ici le kilométrage parcouru) a fortement augmenté ce qui a retardé les effets bénéfiques de cette réduction sur la qualité de l'air. Ici, la hausse de l'activité A a compensé la baisse de l'émission unitaire Fem, ce qui s'est traduit par des émissions relativement constantes.

Dans l'étude de scénario de prévisions des émissions ou de stratégie de réduction, il est important de pouvoir distinguer la contribution des émissions unitaires de celle de l'activité car les mesures politiques prises peuvent porter tantôt sur l'émission unitaire (par exemple, obligation du catalyseur sur les véhicules), tantôt sur une limitation de l'activité (par exemple, interdiction de circulation des véhicules sans pastille verte).

Pour élaborer un inventaire d'émission, il faut donc :

1. Identifier les sources (=émetteurs), en correspondance avec les substances, dans la zone d'espace et de temps considérée.
2. Pour chaque source, déterminer son activité
3. Pour chaque source, déterminer son facteur unitaire d'émission
4. Pour chaque source, déterminer son émission en faisant le produit indiqué.
5. Sommer sur l'ensemble des sources recensées.

La réalisation est essentiellement un travail de collecte de données et de recoupements de ces données. Ce travail est extrêmement lourd et coûteux. Souvent, les données de base (facteurs d'émissions ou activité) sont mal connues et il est nécessaire de les extrapoler. De plus, les formats de ces données sont extrêmement variables selon le secteur concerné et les ordres de grandeurs ne s'acquierent qu'avec une solide expérience. La réalisation d'inventaire exige bien souvent la constitution de bases de données très importantes. Petit à petit, les choses s'organisent pour automatiser l'observation et la collecte de données de base nécessaires aux inventaires.

Dans un contexte réglementaire, la réalisation des inventaires est confiée à des organismes compétents et indépendants, qui ont connaissance des méthodologies d'estimation des émissions et des bases données associées. Pour la France, l'organisme de référence est le CITEPA (Centre Interprofessionnel d'Etude de la Pollution Atmosphérique).

Chapitre 2

Les substances

2.1 Introduction

Les différentes substances ont des durée de vie dans l'atmosphère qui sont extrêmement variables, ce qui explique que les problèmes de pollution se situent sur des différentes échelles de temps et d'espace très variables. Voici l'ordre de grandeur de la durée de vie dans l'atmosphère de quelques polluants : Les **polluants primaires** sont les polluants que l'on trouve à l'endroit de l'émission.

Substance	Polluants
CH ₄	année
CO	mois
SO ₂	jours à mois
Ozone	qq jours
COVNM	heures à jours
Aérosols 1-10 μm	minutes à jours
Aérosols $\leq 1\mu\text{m}$	jours à semaines

TAB. 2.1 – Durée de vie indicative de certaines substances polluantes dans l'atmosphère

Par exemple, le CO est un polluant primaire.

Les **polluants secondaires** sont des polluants qui ne sont pas émis, mais qui résultent de la transformation physico-chimique des polluants primaires au cours de leur séjour dans l'atmosphère. Par exemple, l'ozone résulte de réactions chimiques impliquant notamment les oxydes d'azote et les COV.

Il est possible de réaliser un inventaire d'émission pour les polluants primaires, mais pas pour les polluants secondaires.

Le choix de la substance dépend généralement des objectifs de l'inventaire d'émission et/ou des impacts que l'on souhaite étudier. L'inventaire peut être fait en masse de substance, ou en indicateurs. Dans ce dernier cas, la masse de substance a été convertie en fonction de son potentiel d'effet. Par exemple, une quantité de CH₄ peut être ramené à une quantité d'équivalent CO₂, moyennant un facteur de conversion exprimant la nuisance relative d'un kg de CH₄ par rapport à

celle d'un kg de CO₂. La notion d'indicateur permet ainsi d'additionner des substances diverses pour en étudier plus facilement l'impact.

Les substances faisant l'objet de surveillance, notamment via la réalisation régulière d'inventaires d'émission sont très nombreuses. Une liste des substances les plus couramment évoquées dans les problèmes de pollution atmosphérique est proposée dans ce qui suit. Cette liste n'est pas exhaustive et évolue régulièrement en fonction des connaissances scientifiques liées à la pollution atmosphérique et à ses effets. La liste des polluants est donnée par famille : la notion de famille recouvre soit des caractéristiques physico-chimiques précises (COV, PM...), soit elle correspond à une réglementation particulière, ou encore elles sont parfois regroupées en fonction de leur effet.

2.2 Les différents types de polluants

2.2.1 Les polluants réglementés

7 polluants sont actuellement réglementés et font l'objet de mesures continues dans l'air réalisées par les associations de surveillance de la qualité de l'air.

- le dioxyde de soufre : SO₂
- le monoxyde de carbone : CO
- le dioxyde d'azote : NO₂
- l'ozone : O₃
- les particules (PM₁₀)
- le benzène : C₆H₆
- le plomb : Pb

Prochainement, d'autres substances vont s'ajouter à la liste :

- les hydrocarbures aromatiques polycycliques : 6 (HAP)
- le cadmium : Cd
- l'arsenic : As
- le nickel : Ni
- le mercure : Hg

2.2.2 Les composés organiques

Les composés organiques volatiles - COV

Les COV regroupent une multitude de substances et ne correspondent pas à une définition très rigoureuse. Les hydrocarbures appartiennent aux COV et on fait souvent l'amalgame à tort. Ceci est sans doute dû au fait que l'on exprime souvent les COV en hydrocarbures totaux (notés HC), en équivalent méthane ou propane, ou par rapport à un autre hydrocarbure de référence.

Il est fréquent de distinguer séparément le méthane (CH₄) qui est un COV particulier, naturellement présent dans l'air, des autres COV pour lesquels on emploie alors la notation COVNM

(Composés Organiques Volatils Non Méthaniques).

Les grandes familles de composés organiques volatiles

Parmi les composés organiques volatiles, on peut distinguer différentes familles de COV :

- les **alcane**s (saturés, abondants, par exemple propane)
- les **alcène**s (liaison doubles, très réactifs)
- les **diène**s et les **terpène**s (multiples doubles liaisons)
- les **aromatiques mono ou polycycliques** (assez abondants et réactifs, par exemple, benzène, toluène ...)
- les **composés oxygénés** (aldéhydes, cétone, esters, alcool ...).
- les **aromatiques mono ou polycycliques** (assez abondants et réactifs, par exemple, benzène, toluène ...). Parmi les aromatiques, les hydrocarbures aromatiques polycycliques **HAP** constituent un groupe particulier en raison de leurs caractéristiques chimiques et toxicologiques (cancérogènes) et ils font l'objet d'une surveillance particulière du fait de leur dangerosité : ces composés sont très nombreux et les plus courants sont : fluoranthène, benzo(b) fluoranthène, benzo(k) fluoranthène, benzo(a)- pyrène, benzo(ghi)perylène, indeno (1,2,3-cd) pyrène (liste des 6 HAP prioritaires définie par l'U.E. et l'O.M.S.). On considère également souvent : naphthalène, acenaphthylène, fluorène, phénanthrène, anthracène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, dibenzo(ah) anthracène (ajouté aux 6 prioritaires), ils forment la liste des 16 HAP formée par l'EPA. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont été déclarés des substances toxiques car ils répondent aux critères de persistance, de bioaccumulation et de toxicité définis par divers organismes internationaux. Les HAP proviennent de sources naturelles et anthropiques. Il s'agit d'un groupe de 100 substances chimiques différentes qui sont produites pendant la combustion incomplète de charbon, de pétrole et de gaz, de bois, de déchets et d'autres substances organiques. On les trouve généralement sous forme de nombreux composés mélangés, dans des matériaux comme la suie. Les HAP s'introduisent dans l'environnement pendant la phase gazeuse ou agglutinés à des particules, principalement la suie. Dans l'air ambiant, 25 % des HAP adhèrent à des particules et 75 % se présentent sous forme gazeuse, à l'exception des substances provenant des alumineries où le ratio est de 50-50. Les HAP sont aussi généralement concentrés près de sources ponctuelles spécifiques et leurs concentrations semblent diminuer rapidement à mesure qu'ils s'éloignent de leur source.

Les Produits Organiques Persistants (POP)

Il existe douze composés organiques toxiques à basse concentration. Ce sont des résidus industriels souvent toxiques, mutagènes et cancérogènes, qui interfèrent avec notre système hormonal et sexuel. La liste la plus communément admise est la suivante : Trichloroéthylène (TRI), Trichloroéthane (TCE), Tetrachloroéthylène (PER), Dioxines et furanes (Diox), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), Polychlorobiphényles (PCB) et Hexachlorobenzène (HCB).

Ils sont semi-volatils et circulent plus ou moins bien dans l'air, en fonction de la température

de celui-ci : dans les endroits froids, leur volatilité est réduite et ils se concentrent donc dans les régions tempérées et polaires.

Ils sont lipophiles (faible solubilité dans l'eau mais forte dans les graisses), avec attirance forte pour les tissus adipeux où ils se concentrent généralement (forte bioaccumulation). Ils ont également une durée de vie très longue (persistance dans le milieu).

Les sources de COV

Les sources de COV sont très nombreuses, les émissions sont dues à certains procédés industriels impliquant la mise en oeuvre de solvants (chimie de base et chimie fine, parachimie, dégraissage des métaux, application de peinture, imprimerie, colles et adhésifs, caoutchouc, etc...), ou n'impliquant pas de solvants (raffinage du pétrole, utilisation de CFC, production de boissons alcoolisées, de pain, etc.). L'utilisation de combustibles dans des foyers contribue un peu aux émissions mais sans aucune comparaison avec les proportions indiquées pour SO₂ et NO_x. On retrouve au premier rang des émetteurs les transports (surtout automobiles). On notera également que la biomasse est fortement émettrice (forêts), sans oublier non plus les émissions liées aux produits domestiques (peinture, produits d'entretien, parfums et cosmétiques, journaux, tabac, etc.).

Voici quelques exemples de COV associés à des sources courantes (sources intérieures). Cette liste reflète la diversité des sources et des substances regroupées sous la dénomination COV :

- (+/-) alpha pinène Désodorisant, parfum d'intérieur, produit d'entretien
- 1,4 dichlorobenzène : Anti-mite, désodorisant, taupicide
- 111-trichloroéthane : Formulations de colle
- 124-triméthylbenzène : Solvant pétrolier, carburants, goudrons, vernis
- 1-methoxy-2-propanol : Laques, peintures, vernis, savons, cosmétiques
- 2-butoxyéthanol : Peintures, vernis, fongicides, herbicides, traitement du bois, calfatage siliconé
- 2-ethoxyéthanol Peintures, laques, vernis
- Benzène : Carburants, fumée de cigarette, produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration
- Butyl-acétate : Parquet, solvants
- cyclohexane : Peintures, vernis, colles
- Décane : White-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, sol, moquettes, tapis
- Ethyl-benzène : Automobile, cires
- Limonène : Désodorisant, parfum d'intérieur, cires, nettoyeurs sol
- Mp-xylène et O-xylène Peintures ; vernis, colles, insecticides
- Styrène :Matières plastiques, matériaux isolants, automobile, fumée de cigarette
- Tétrachloroéthylène : Nettoyage à sec, moquettes, tapis
- Toluène : Peintures, vernis, colles, encres, moquettes, tapis, calfatage siliconé , vapeurs d'essence
- Trichloroéthylène : Peintures, vernis, colles, dégraissant métaux
- Undécane : White-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, nettoyeurs sol.

Ci-dessous figurent des substances appartenant à la famille des aldéhydes, souvent associés à la pollution dans les ambiances intérieurs et potentiellement responsables d'effets sur la santé :

- Formaldéhyde : Photochimie, panneaux de particules, panneaux de fibres, panneaux de bois brut, émissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, fumée de cigarettes, photocopieurs
- Acétaldéhyde : Photochimie, fumée de cigarettes, photocopieurs, panneaux de bois brut, panneaux de particules
- Benzaldéhyde : Peintures à phase solvant, photocopieurs, parquet traité
- Hexaldéhyde : Panneaux de particules, émissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, produit de traitement du bois (phase aqueuse), panneaux de bois brut
- Isobutyraldéhyde/butyraldéhyde : Photocopieurs
- Isovéraldéhyde : Parquet traité, panneaux de particules
- Valéraldéhyde : Emissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, panneaux de particules

Les sources potentielles de rejets des HAP sont :

- la combustion de déchets de bois et d'écorces par les chaudières industrielles ;
- les chaudières industrielles au gaz, au charbon, au pétrole et aux déchets pétroliers ;
- les centrales électriques, les fours électriques à arc ;
- le reformage catalytique pétrolier ;
- la fabrication de bardeaux d'asphalte, les usines de préparation d'enrobé à chaud ;
- les fonderies de métaux ferreux, les fours à coke, les usines de pâtes et papiers, les alumine-ries ;
- la production de noir de carbone ;
- la préservation du bois ;
- les incinérateurs.

Les HAP sont naturellement présents dans le pétrole brut et ils le demeurent dans les produits raffinés. Mais ils sont également rejetés par des sources naturelles : les feux de forêt, qui libèrent près de 2 000 tonnes de HAP par an, sont sans doute la plus grande source naturelle de HAP. Cependant, ces rejets étant généralement très éloignés dans le temps et dans l'espace, ils n'entraînent pas de risque d'exposition continue. Le dépôt atmosphérique provenant de sources à l'extérieur des pays constitue une autre voie d'entrée significative.

2.2.3 Les métaux lourds :

Les métaux lourds désignent en général les métaux dont le poids atomique est supérieur à celui du fer. Ces métaux sont parfois également désignés par le terme de métaux traces ou d'éléments traces métalliques. On considère en général les métaux lourds suivants : Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Sélénium (Se), Zinc (Zn).

Chaque métal possède des caractéristiques et un impact propre. Néanmoins, on distingue en particulier :

- Mercure : le mercure est le seul métal liquide à température ambiante. Il se combine très

aisément avec d'autres composés et a une volatilité importante. Pour le mercure métallique (inorganique), on le retrouve sous forme gazeuse, liquide ou ionique. Mais le mercure peut également se combiner avec du gaz carbonique et on parle alors de mercure organique. Le mercure est très sensible à l'acidité du milieu. Il est extrêmement toxique et a des effets sur le système nerveux. La volatilité importante du mercure en fait un polluant important dans les études de pollution transfrontière.

- Plomb : Une source importante des émissions de plomb dans l'atmosphère a été le transport car le plomb a été pendant longtemps additionné à l'essence du fait de son pouvoir anti-détonant. De ce fait, il contamine souvent les terrains en bordures d'axes routiers. Depuis l'interdiction du plomb dans les carburants (en 2000, pour la France), les rejets de plomb ont considérablement chuté et les concentrations en plomb sont considérées maintenant comme étant à des niveaux acceptables. L'ingestion de plomb déclenche le saturnisme.
- Cadmium : il provient surtout de l'incinération des déchets, ainsi que de procédés industriels (métallurgie ..). Il a des effets sur le système respiratoire et gastro-intestinaux.

Ces 3 métaux se distinguent des autres métaux souvent considérés comme des oligo-éléments pouvant être utiles. Les premiers sont tous très toxiques (effets sur le système nerveux) et ont une durée de vie très grande et une conductivité électrique élevée. Les métaux ne posent pas seulement un problème pour la pollution de l'air, mais aussi pour celle de l'eau et des sols.

2.2.4 Les particules

Les particules regroupent également une variété importante de substances. Le terme de particules désigne en général la fraction des composants (liquides ou solides) en suspension dans le milieu gazeux. Souvent, les particules sont classées en fonction de leur granulométrie :

Particules en suspension (TSP) : masse totale de particules.

PM10 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 10 μm .

PM2.5 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 2.5 μm .

PM1.0 : masse des particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 1 μm .

Ultrafines : particules dont le diamètre aérodynamique moyen est inférieur à 0.1 μm .

Nanoparticules : particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 0.05 ou 0.03 μm .

La composition chimique des particules est également un paramètre très important pour les études de pollutions atmosphériques.

2.2.5 Les Chlorofluorocarbones

Les chlorofluorocarbones ou les CFCs (également connus sous le nom de Fréons) sont non-toxiques, ininflammables et non-cancérogènes. Ils contiennent des atomes de fluor, des atomes de carbone et des atomes de chlore. Les 5 CFCs principaux incluent le CFC-11 (trichlorofluorométhane - CFCl_3), CFC-12 (dichlorodifluorométhane - CF_2Cl_2), CFC-113 (trichlorotrifluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$), CFC-114 (dichlorotétrafluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_4\text{Cl}_2$), et CFC-115 (chloropentafluoroéthane - $\text{C}_2\text{F}_5\text{Cl}$).

Les CFCs sont largement répandus comme liquides réfrigérants dans la réfrigération et les climatiseurs, comme dissolvants dans les décapants, en particulier pour les cartes électroniques, en tant qu'agents de soufflage dans la production de mousse (par exemple extincteurs), et comme propulseurs en aérosols. Leur durée de vie dans l'atmosphère varie de 20 à plusieurs centaines d'années. A l'heure actuelle, les CFC ne constituent plus un problème majeur de la pollution atmosphérique (voir ci-après).

2.2.6 La spéciation chimique

Nous avons vu que les substances à répertorier sont très nombreuses. Bien souvent, on ne connaît pas l'émission d'une source pour une substance donnée, mais plutôt pour une famille de substances. Pour déterminer l'émission de chaque substance, on applique alors un profil de spéciation typique, qui permet de ventiler la masse totale d'émission de la famille pour chacun des constituants.

Par exemple, on est capable d'évaluer la quantité des oxydes d'azote (NO_x) émise sur une route parcourue par un trafic de 30 000 véhicules/jour. L'émission journalière de NO_x correspondant est de 32 kg de NO_x. Pour connaître les émissions respectives en NO et NO₂, on utilise un rapport de spéciation : $r(\%) = \frac{NO_2}{NO_x} = 0.1$. Ainsi, on estime que les 32 kg de NO_x émis sont composés de 3.2 kg de NO₂ et de 26.8 kg de NO.

Voici un autre exemple de profil de spéciation qui est appliqué aux composés organiques volatils non méthaniques émis par évaporation de carburant (voir table 2.2.6). Ce profil permet de décomposer par groupe d'espèces pour déterminer par exemple les émissions de composés aromatiques, ou par composés individuels. Les profils de spéciation reposent en général sur un faible nombre de

Groupe	Espèce	Fraction massique de l'émission (%)
ALKANES	Propane	1
	n-butane	20
	i-butane	10
	n-pentane	15
	i-pentane	25
	Hexane	15
	Heptane	2
ALKENES	1-butene	1
	2-butene	2
	1-pentene	2
	2-pentene	3
	1,3 hexene	1.5
AROMATICS	benzene	1
	toluene	1
	m,p-Xulene	0.5

TAB. 2.2 – Profil de spéciation des émissions de COVNM résultant de l'évaporation de carburants mesure car ces dernières sont plus détaillées et en général plus coûteuse.

2.3 Les effets des différentes substances

Les impacts de la pollution conditionnent la plupart du temps le choix des substances retenues dans un inventaire. L'échelle géographique pertinente pour analyser les phénomènes de pollution de l'air va du très local (par exemple odeurs, effets des particules, du benzène, ... sur la santé) à l'échelle mondiale (par exemple effet de serre, couche d'ozone), en passant par des phénomènes régionaux ou continentaux (pluies acides ou pollution photochimique). On classe souvent les effets en fonction de l'échelle qui les concerne.

2.3.1 Effet de serre et changement climatique : échelle mondiale

L'effet de serre est un phénomène avant tout naturel de piégeage par l'atmosphère du rayonnement de chaleur émis par la terre sous l'effet des rayons solaires. Il permet une température sur Terre bien supérieure à celle qui régnerait en son absence (+ 33°C environ). Le groupe de gaz responsables de ce phénomène est présent dans l'atmosphère à l'état de traces ; il s'agit, pour l'essentiel, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O). C'est parce que les teneurs atmosphériques de ces gaz sont naturellement très faibles que les émissions dues aux activités humaines sont en mesure de les modifier sensiblement, entraînant, a priori, un renforcement de l'effet de serre, et par suite, des modifications possibles du climat.

Bien que la vapeur d'eau constitue le plus important gaz à effet de serre, les activités humaines n'influent pas de façon sensible sur sa concentration atmosphérique, qui est naturellement très variable. En revanche, des études ont montré que les concentrations en CO₂, CH₄, et N₂O ont augmenté fortement par rapport à leurs niveaux de l'ère préindustrielle. L'homme, par ailleurs, a introduit de nouveaux gaz à effet de serre très puissants dans l'atmosphère : les chlorofluorocarbones (CFC) également responsables de la destruction de la couche d'ozone. Enfin, on sait désormais que l'ozone troposphérique, formé à partir des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et de Composés Organiques Volatils (COV) joue également un rôle important.

Les principales substances émises considérées pour leur impact sur l'effet de serre sont donc : CO₂, CH₄, N₂O, HFC (dont spéciation selon 8 composés), PFC (dont spéciation selon 5 composés), SF₆.

Pour permettre de comparer entre eux les effets des différents gaz, les experts utilisent le "Potentiel de Réchauffement Global" (PRG) qui est le rapport du forçage radiatif d'un gaz à celui du CO₂. Par construction, le PRG du CO₂ est donc 1. Le PRG du CH₄ est évalué à 21, celui du N₂O à 320, ceux de certains gaz du groupe des CFC dépassent 5 000... Bien que le CO₂ soit le moins puissant des gaz à effet de serre, sa contribution se révèle toutefois la plus forte, du fait de l'ampleur des émissions. En effectuant la somme des émissions de gaz à effet de serre, pondérée par leur PRG, on obtient une évaluation de l'impact global des activités humaines sur l'effet de serre, exprimé en unité CO₂-eq. Le forçage radiatif est l'unité permettant d'estimer l'ampleur du mécanisme susceptible de conduire à un changement climatique. Il représente la perturbation du bilan énergétique du système sol-atmosphère.

La pondération par le PRG permet de prendre en compte le temps de résidence dans l'atmo-

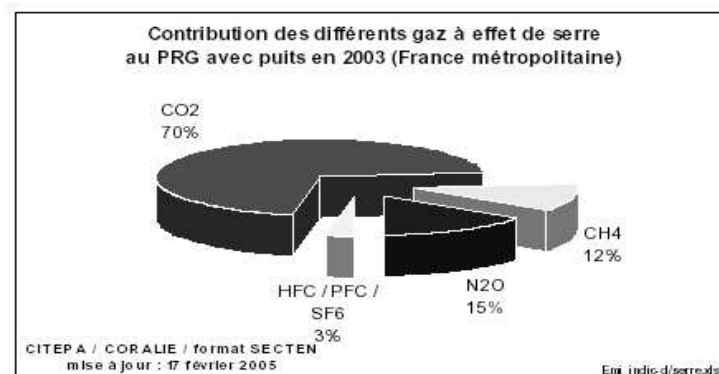


FIG. 2.1 – Contribution des émissions de différentes substances aux réchauffement climatique - Source CITEPA

sphère ainsi que la capacité d'absorption des différents gaz. Les coefficients de conversion dépendent du temps d'intégration pris en compte pour évaluer le changement climatique. En général, on évalue le calcul se fait à 100 ans. Les PRG (Tonnes équivalents CO₂) de ces différents gaz tels que définis par le GIEC sont ceux de 1995 selon les décisions prises à ce jour par la Conférence des Parties :

- CO₂ = 1
- CH₄ = 21
- N₂O = 310
- HFC = variables de 140 à 11 700 selon les molécules considérées (valeur pondérée de 5 411 en 1990 et de 1 751 en 2003)
- PFC = variables de 6 500 à 9 200 selon les molécules considérées (valeur pondérée de 7 293 en 1990 et de 7 193 en 2003)
- SF₆ = 23 900

Le transport aérien et le changement climatique

L'impact du trafic aérien à haute altitude (au-delà de 900 mètres) est double, à savoir un réchauffement du climat et une perturbation de la couche d'ozone. Le réchauffement est dû aux émissions de gaz à effet de serre dans la basse atmosphère (jusqu'à 12 km d'altitude) d'une façon directe (CO₂, vapeur d'eau) ou indirecte à cause de l'ozone (O₃) troposphérique formée à partir du NO_x et des COV émis en altitude. Les gaz à effet de serre, rejetés par les avions, et localisés dans les hautes couches de la troposphère, font que la terre garde une grande partie du rayonnement solaire, d'où une participation au réchauffement de la planète.

Les avions produisent du CO₂ (environ 2% du CO₂ d'origine humaine), mais ils émettent aussi des oxydes d'azote, qui ont deux effets majeurs sur la haute atmosphère : ils forment de l'ozone et détruisent le méthane. La durée de vie de l'ozone étant courte, sa formation est un processus local et temporaire. En 1992, il y avait 6% de plus d'ozone dans les couloirs aériens que dans les zones sans avions. Ce chiffre pourrait monter à 12% en 2050. La diminution du méthane en altitude (environ -2% en 1992, -5% en 2050) est plus répartie sur le globe et s'étend au delà des couloirs aériens. L'ozone que les avions produisent indirectement et le méthane qu'ils détruisent sont tous

deux des gaz à effet de serre. A l'échelle du globe, ces deux effets s'annulent quasiment. Mais dans l'hémisphère Nord, le réchauffement dû à la formation de l'ozone dans les couloirs aériens dépasse le refroidissement causé par la diminution du méthane.

Les avions émettent des gaz entre la troposphère et la stratosphère, près de la tropopause, où les températures sont très basses. L'air froid ne pouvant contenir que peu d'eau sous forme de vapeur, celle-ci se condense très facilement dans cette zone. Dans la queue des avions se forment des traînées de condensation, appelées *contrails*. Ce sont des nuages composés de cristaux de glace qui évoluent ensuite pour former des nuages de type cirrus. Les contrails, tout comme les cirrus, induisent un effet de serre, puisqu'ils bloquent les rayons du soleil et qu'ils retiennent davantage le rayonnement infrarouge réémis par la Terre. Les émissions de carbone et de sulfates favoriseraient en plus la condensation de cirrus supplémentaires, augmentant cet effet. Minnis/2003/ et ses collègues estiment que l'augmentation de 1% tous les dix ans de la couverture nuageuse de type cirrus au dessus des Etats-Unis est causée par le trafic aérien.

De nombreux spécialistes s'accordent à dire que la contribution du trafic aérien au changement

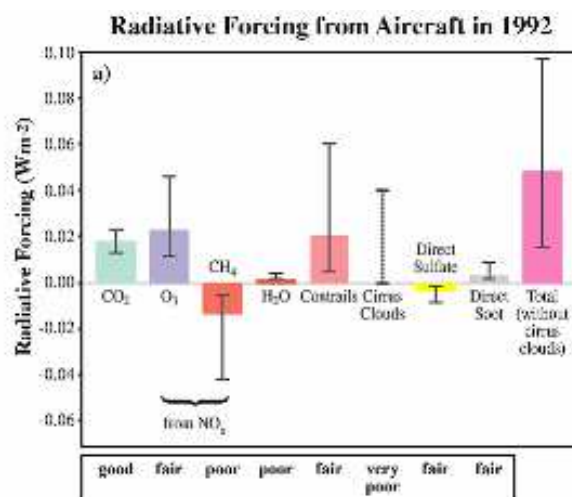


FIG. 2.2 – Forçage radiatif annuel lié aux émissions des avions en 1992- Source IPCC-Report on Aviation 1999

climatique et à la diminution de la couche d'ozone est encore faible (3.5% en 1992) par rapport aux autres sources d'émission. Par contre, on s'interroge beaucoup sur ce que pourrait devenir cette contribution à l'avenir. Certains la prévoient entre 10% et 15% en 2050. De plus, les incertitudes restent encore très importantes quant au rôle de l'aviation dans le changement climatique (IPPC-Report on Aviation/1999/), en particulier sur la contribution des traînées de condensation à la formation de cirrus. Il est en particulier difficile d'estimer la part de cirrus dont l'origine serait liée aux traînées des avions.

2.3.2 Destruction de la couche d'ozone : échelle mondiale

La Couche d'ozone localisée dans la stratosphère filtre à l'extérieur les rayonnements dans la partie ultra-violette (UV) du spectre qui est préjudiciable aux cellules. Sans ozone, la vie sur Terre ne serait pas ce qu'elle est aujourd'hui. La découverte d'un trou dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique et son association avec les CFCs synthétiques a amené le monde à agir pour protéger la couche d'ozone (protocole de Montréal en 1979). La destruction de la couche d'ozone se produit quand l'équilibre naturel entre la production et la destruction de l'ozone stratosphérique est incliné en faveur de la destruction. Bien que les phénomènes naturels puissent causer la perte provisoire de l'ozone, le chlore et le brome libérés des composés synthétiques tels que les CFCs sont maintenant considérés comme cause principale de cet amincissement. Les émissions de CFCs représentent environ 80% de l'amincissement total de l'ozone stratosphérique. Les autres substances responsables de la réduction de la couche d'ozone sont le tétrachlorure de carbone, le méthyle chloroforme, les halons (produits extincteurs), le bromure de méthyle, les HCFC (potentiels d'amoinissement de la couche très inférieur aux CFC). C'est seulement à partir de la période 2000-2005 (protocole de Montréal respecté) que l'on voit dans la stratosphère une diminution des produits responsables de la destruction de l'ozone. La diminution de la couche d'ozone devrait donc se poursuivre encore quelques années : d'après les modèles, le déficit d'ozone sous nos latitudes serait alors de 10 % environ et ne pourrait pas être comblé avant une cinquantaine d'années. Cette restauration de la couche d'ozone pourrait être retardée ou menacée si quelques pays, notamment les grands pays en développement (Chine, Inde, Brésil...), ne respectaient pas totalement les accords internationaux de limitation des produits chimiques incriminés. Néanmoins, la destruction de la couche d'ozone, compte tenu de la réduction des émissions de CFC, n'apparaît plus comme un problème environnemental prioritaire à l'heure actuelle.

2.3.3 Acidification, eutrophisation et photochimie : échelle régionale/continentale

2.3.4 L'eutrophisation

L'eutrophisation est due à un apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables issus de l'activité humaine. Elle s'observe surtout dans les milieux aquatiques dont les eaux sont peu renouvelées. Stimulées par un apport substantiel en certains nutriments dont principalement le phosphore et l'azote, le phytoplancton et certaines plantes aquatiques croissent et se multiplient de manière excessive, ce qui conduit, lorsqu'elles se décomposent, à une augmentation de la charge naturelle de l'écosystème en matières organiques biodégradable. Les bactéries, qui dégradent cette matière organique, prolifèrent à leur tour, en appauvrissant de plus en plus l'oxygène de l'eau.

2.3.5 Les pluies acides

"Les pluies acides" est un terme utilisé pour décrire toute forme de précipitation acide (pluies, neige, grêles, brouillard). Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont les principales causes des pluies acides. Ces polluants s'oxydent dans l'air pour former de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ou des sels. On les retrouve dans les nuages et les précipitations parfois à des milliers

de kilomètres de leur point d'émission, (pollution transfrontière à longue distance). Ceci concourt à des dépôts acides et à l'acidification accrue des pluies par rapport à celles résultant de la seule présence de gaz carbonique dans l'air (qui fait que le pH "naturel" d'une pluie est toujours acide, de l'ordre de 5,6).

D'autres polluants peuvent contribuer aux pluies acides, notamment l'acide chlorhydrique émis par incinération de certains déchets plastiques, ou l'ammoniac des activités agricoles.

Les pluies acides modifient les équilibres chimiques des milieux récepteurs, en particulier lorsque ceux-ci sont déjà naturellement acides (pas d'effet tampon). Ceci peut se répercuter par des atteintes sur la faune et la flore aquatique, des carences nutritives engendrant des chutes de rendement et des lésions visibles chez les végétaux, ainsi que des jaunissements et la défoliation des arbres.

Au cours des années 1970-1980 de nombreux massifs forestiers ont été touchés par des troubles et des dépérissements anormaux en Europe. En France, jusqu'à 25% des arbres pouvaient être considérés comme endommagés à des degrés divers dans certaines régions, notamment dans les Vosges. Il est admis que les retombées acides ont contribué à ces dommages, souvent en combinaison avec des facteurs de stress naturels (sécheresses, insectes pathogènes,...), et parfois de manière prédominante dans les régions d'Europe centrale particulièrement polluées en dioxyde de soufre.

Les pluies acides ont perdu de l'importance, du moins dans nos régions, en raison des fortes réductions des rejets de SO₂ mises en oeuvre à partir des années 1980. Certains bassins versants en Europe présentent toutefois une sensibilité élevée aux dépôts acides (cas en France des Ardennes, des Landes, du Massif Central,...). Ceci incite à la vigilance sur l'évolution future des rejets liés aux combustibles fossiles ou à l'intensification de certaines pratiques agricoles (émissions d'ammoniac).

2.3.6 Les pics d'ozone

Les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV) réagissent dans la troposphère, sous l'effet du rayonnement solaire, pour former des polluants photochimiques. Le principal polluant photochimique est l'ozone. Sa présence s'accompagne d'autres espèces aux propriétés acides ou oxydantes telles que des aldéhydes, des composés organiques nitrés, de l'acide nitrique, de l'eau oxygénée. Cette pollution s'observe surtout en été dans les régions périurbaines et rurales sous le vent des agglomérations, et concourt à l'accroissement de la pollution de fond par l'ozone (en hausse d'environ 1% par an sur l'ensemble de l'hémisphère nord).

L'ozone et les polluants photochimiques sont également des espèces phyto-toxiques. L'ozone peut perturber la photosynthèse, altérer la résistance des végétaux, diminuer leur productivité, provoquer des lésions visibles (le tabac Bel W3 est parfois utilisé comme bio-indicateur d'ozone). L'ozone contribue également avec les dépôts acides et d'autres facteurs défavorables (sécheresses, pauvreté des sols, etc...) aux troubles forestiers observés en Europe et en Amérique du Nord.

La pollution par l'ozone demeure préoccupante et chaque année, en période estivale, diverses régions subissent des situations de pointes de pollution photochimique au cours desquels des seuils jugés nocifs peuvent être atteints, voire dépassés, tant vis à vis de la santé de l'homme que des végétaux. De telles situations peuvent s'observer de 1 à 2 jours par semaine en été, notamment dans les régions très ensoleillées. La pollution à l'ozone (pics d'ozone) est liée à un excès d'ozone dans

les couches basses de l'atmosphère. Cet excès est nuisible pour la santé des organismes vivants. Ce problème est à distinguer du trou dans la couche d'ozone qui correspond à un manque d'ozone dans les couches stratosphériques pour faire barrière aux rayonnements solaires.

Les principales substances mises en relation avec les problèmes d'acidification, eutrophisation et photochimie sont : SO₂, NO_x, NH₃, COVNM (dont spéciation plus de 200 composés), CO. Les substances chimiques sont parfois converties en unités telles que indicateurs acide équivalent (Aeq) ou le potentiel de création d'ozone photochimique (PCOP).

2.3.7 Effets sur les matériaux

Les matériaux sont essentiellement affectés par la pollution acide (surtout liées au SO₂) qui entraîne une dégradation des édifices, monuments ou façades d'immeubles. Il s'agit bien souvent de la décomposition de certaines pierres calcaires sous l'effet des acides. Les particules interviennent plutôt sur les aspects de salissures des bâtiments. La pollution atmosphérique met en danger notre patrimoine culturel et occasionne d'onéreux travaux de ravalement de façades ou de restauration des monuments.

2.3.8 Effets sur les écosystèmes : forêt, réserve d'eau douce

Les arbres vivent et dépérissent pour des causes naturelles très variées ne serait-ce que l'âge. Le dépérissement soudain constaté surtout depuis 1980 semble relever de causes tout à fait inhabituelles. Les responsables considèrent que la pollution atmosphérique est l'un des nombreux éléments participant aux dépérissements forestiers. Des recherches en laboratoires ont montré que les causes du dépérissement forestier sont très complexes : sols de mauvaise qualité, sécheresses anormales, présence de polluants dans l'atmosphère principalement la pollution acide et l'ozone. Mais à proximité de certains sites générateurs de pollution (site industriel, grosses infrastructures routières), on observe également des baisses de rendements des terres agricoles. En outre, on peut parfois observer localement une contamination des sols où s'accumulent des métaux, comme le plomb en bordure de route.

L'acidification des lacs et des cours d'eau entraîne une destruction parfois irréversible de la vie aquatique. Outre le problème d'eutrophisation, la baisse du pH provoque la mise en solution de métaux contenus naturellement dans le sol, comme l'aluminium, toxique à l'état dissous pour presque la totalité des organismes vivants.

Les métaux lourds contaminent également à la fois les sols et les réserves d'eau douces. Leur accumulation dans les sols et les eaux laissent craindre une contamination de la chaîne alimentaire. Ce type de pollution s'observe au niveau local (proximité de certains sites), mais aussi à l'échelle régionale et continentale, notamment pour certains métaux comme le mercure.

2.3.9 Effets sur la santé

Les limites de concentration dans l'air ambiant de certains polluants (SO₂, Poussières, NO₂, Pb, O₃) imposées par des directives Européennes tiennent compte des effets sur la santé de cer-

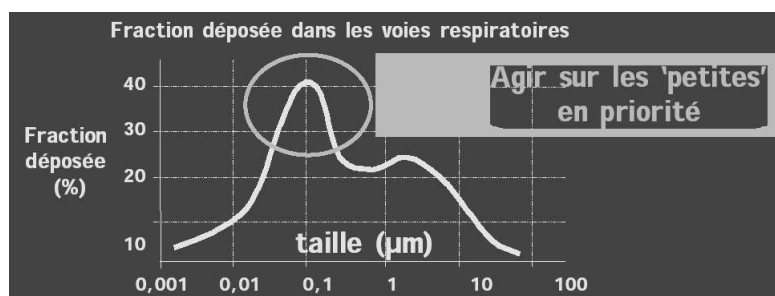


FIG. 2.3 – Fraction de particules déposées dans les voies respiratoires en fonction de la taille des particules - Source Ademe

taines substances. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) édicte les règles qu'il faudrait respecter pour les divers polluants. Certains effets sont associés à des **seuils**, c'est à dire qu'on peut déterminer une valeur de concentration dans l'air en dessous de laquelle la substance n'est pas dangereuse. Pour certaines substances, il n'existe pas de seuil au sens médical du terme, mais il existe des seuils réglementaires (niveau de pollution acceptable, mais non dénué de conséquences). Les effets sur la santé ayant été le plus étudiés sont les **effets à court terme** liés à des concentrations élevées. Des études sont également menées pour évaluer les conséquences à long terme d'une exposition à un niveau de pollution plus faible.

Pour déterminer les seuils (Information, alerte, protection de la santé..), on se base sur des études toxicologiques et épidémiologiques. La **toxicologie** vise à étudier par une analyse phénoménologique ce qui fait qu'une substance est bien tolérée et l'autre non, à découvrir à partir de quelle dose une molécule deviendra dangereuse. L'**épidémiologie** consiste à analyser statistiquement les relations entre une exposition et des effets.

Ci-dessous, les effets des polluants les plus courants sont présentés :

- Particules : plus les particules sont fines plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire et plus leur temps de séjour y est important. Elles ont une double action liée aux particules proprement dites et aux polluants qu'elles transportent (métaux, hydrocarbures, dioxyde de soufre, etc.). Elles irritent le système respiratoire humain et peuvent contribuer au déclenchement de maladies respiratoires aiguës.
- SO₂ : le SO₂ entraîne une inflammation des bronches avec un spasme qui provoque une altération de la fonction respiratoire.
- NO-NO₂ : NO₂ est toxique (40 fois plus que CO, 4 fois plus que NO) NO₂ pénètre profondément dans les poumons. Les pics de concentrations sont plus nocifs qu'une même dose sur une longue période. NO est un gaz irritant pour les bronches, il réduit le pouvoir oxygénateur du sang.
- COV : certains composés organiques tels que les aromatiques, les oléfines provoquent des irritations des yeux. Les aldéhydes sont de puissants irritants des muqueuses. Certains COV tels que le benzène, sont cancérigènes.

- CO : CO se fixe sur l'hémoglobine du sang. Le phénomène est irréversible. On connaît les accidents mortels liés à l'inhalation de CO lors du fonctionnement défectueux de chauffe-eau.
- Ozone : L'ozone est un oxydant puissant. C'est un irritant des yeux, de la gorge et des bronches. Ses effets sont majorés par l'exercice physique.
- POP : Les conséquences de la présence de POPs qui ont pu être observées sur les animaux sont les suivantes : stérilité plus fréquente et baisse de l'effectif des populations, dysfonctionnements hormonaux, mutations sexuelles, déficiences du système immunitaire, anomalies de comportement, tumeurs et cancers, graves malformations congénitales. L'homme connaît également de graves problèmes : cancers et tumeurs, troubles du système nerveux, déficiences du système immunitaire, augmentation de cas de stérilité et modification de comportements sexuels, diminution de la production de lait chez les mères, augmentation des maladies type diabète, etc.

Pour les études d'impact de projets routiers de grande taille, on retient la liste suivante de polluants (source Ministère de l'Équipement) :

- les réglementés et autres indicateurs : NO_x, CO, HC ou COV, C₆H₆, les particules émises à l'échappement, CO₂, SO₂ et la consommation énergétique.
- la pollution particulaire : Cadmium et plomb
- exposition aiguë : acroléine, NO₂, SO₂, C₆H₆
- exposition par inhalation : C₆H₆, PM₁₀, Cr, formaldéhyde, 1,3-butadiène, acétaldéhyde, Ni, Cd, benzo(a)pyrène, Ar, acroléine, NO₂, Pb
- exposition par voie orale : benzo(a)pyrène, Cr, Ni, Cd, Ar, Pb, baryum

Chapitre 3

Les différents types d'émetteurs

Les inventaires d'émissions posent le problème de l'exhaustivité. L'exhaustivité du recensement des émetteurs de polluants en est un aspect. Bien souvent, les inventaires recensent les émetteurs qui contribuent le plus significativement aux émissions d'une substance donnée. L'importance des contributions est bien souvent jugée a priori, sur la base de connaissances scientifiques parfois parcellaires. En fonction des besoins, des moyens sont investis pour combler les lacunes de cette connaissance. Identifier correctement les émetteurs est une étape importante de l'élaboration de l'inventaire.

Mais l'identification des émetteurs correspond également à d'autres préoccupations plus politiques : connaître la contribution des différents secteurs permet de mettre en place des politiques de réductions des émissions plus efficaces car mieux ciblées. Cette connaissance est également la base des taxations en cas de dépassement de plafonds réglementaire (par exemple, permis d'émettre du CO₂).

3.1 Les types d'émetteurs

Parmi tous les émetteurs potentiels de polluants, on a tendance à distinguer différentes catégories d'émetteurs :

3.1.1 Les sources non-anthropiques ou naturelles

Il s'agit des sources induisant des rejets de substances polluantes mais qui ne sont pas liées à l'activité humaine. Parmi ces sources, on peut également distinguer les sources biogéniques (liées à la présence d'organismes vivants) des autres sources.

L'éruption volcanique (dégagement très important de produits soufrés) est un exemple de source naturelle, de même que la production d'embruns marins (particules). Pour les sources biogéniques, il n'est pas toujours évident de classer le type de sources (cas de l'élevage d'animaux).

3.1.2 Les sources anthropiques

Ces sources sont le fait de l'activité humaine. Cependant, la frontière entre les sources anthropiques et naturelles n'est pas toujours bien délimitée.

Parmi les sources anthropiques, on oppose souvent les **sources fixes**, émises par des installations ne se déplaçant pas, des **sources mobiles** liées aux transports.

Une autre notion est également importante pour la caractérisation des sources et de leur distribution géographique : c'est la notion de **source ponctuelle**, qui caractérise plutôt les grands sites industriels (points sources) : elles sont étudiées en conjonction avec des données concernant leur localisation, leur capacité, leur activité... Les sources ponctuelles définies par Corinair (voir ci-dessous) sont : les usines de production ayant une capacité thermique supérieure à 300 MW, les raffineries, les fabriques d'acide sulfurique, d'acide nitrique, les unités de production de fer ou d'acier supérieures à 3 Mt/an, les usines de pâtes à papier de capacité supérieure à 1000 kt/an, les usines de peinture de voitures ayant une production supérieure à 100000 veh/an, les aéroports de plus de 100000 LTO¹ landing Take Off : cycle normalisé de tests des moteurs d'avions cycles /an, toutes les usines émettant plus de 1000 t/an de SO₂, NO_x ou COV et celles émettant au moins 300000 t/an de CO₂. Elles peuvent être opposées aux *sources diffuses*, qui correspondent à de petits émetteurs très distribués dans l'espace (*area sources*). Ces sources ne peuvent être décrites que sur la base de surfaces importantes et sont très difficiles à caractériser à un niveau local. Enfin, on parle parfois de **sources linéiques** (*lines sources*) : ces sources concernent essentiellement le transport (routier, fluvial ..). Là, les émissions sont déterminées le long d'un axe.

Par exemple, une grande installation de chauffage urbain desservant un petit quartier sera plutôt répertorié en tant que source ponctuelle, alors que l'ensemble des chaudières individuelles servant au chauffage des logements constitue plutôt un exemple de source diffuse.

3.2 La nomenclature Corinair

La nomenclature Corinair permet de classer les émetteurs en fonction de 11 catégories. Cette nomenclature a été baptisée SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution). Elle contient près de 400 items mais les 11 catégories principales sont les suivantes :

1. Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie : production d'électricité, chauffage urbain, raffinage du pétrole, transformation de combustibles minéraux solides, mines de charbon, extraction de gaz/pétrole, stations de compression
2. Combustion hors industrie : commerce et institutionnel, résidentiel, agriculture, sylviculture et aquaculture
3. Combustion dans l'industrie manufacturière : chaudières, turbine, moteurs fixes, fours, procédés énergétiques
4. Procédés de production : procédés de l'industrie pétrolière, de la sidérurgie, des houillères, de l'industrie des métaux non ferreux, de l'industrie de chimie organique, inorganique, de l'industrie du bois, de l'alimentation, du papier, de la boisson..
5. Extraction et distribution de combustibles fossiles/ énergie géothermique : mines, stockage de carburant, extraction, déchargement, distribution de combustibles...

¹L

EMISSIONS DE COVNM EN FRANCE METROPOLITAINE

	1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Transformation d'énergie	176	120	118	118	114	103	96	88	83	81
Industrie manufacturière	591	514	508	511	518	490	504	477	460	425
Résidentiel et tertiaire	390	372	387	367	375	368	357	361	333	350
Agriculture et sylviculture	179	190	170	182	171	180	169	176	171	163
Autres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transport	1081	838	763	697	641	599	534	483	428	380
dont route	1051	802	726	658	600	556	493	441	382	333
fer	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
fluvial	25	32	33	35	37	38	38	39	43	43
maritime (*)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
aérien (*)	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL	2 416	2 033	1 946	1 874	1 819	1 740	1 661	1 586	1 475	1 400
Part transport (en %)	44,7	41,2	39,2	37,2	35,2	34,4	32,2	30,5	29,0	27,2
Part route dans transport (en %)	97,3	95,7	95,1	94,5	93,7	92,9	92,2	91,2	89,0	87,6

Source : CITEPA/Coralie/Secten, février 2005

(*) selon les définitions de l'UNECE : les émissions répertoriées hors total ne sont pas incluses, à savoir les émissions maritimes et aériennes internationales, ainsi que les émissions des sources biotiques des forêts et les émissions non anthropiques.

FIG. 3.1 – Exemple d'inventaire des émissions de COVNM en France en fonction des différents types d'émetteurs - Source CITEPA

6. Utilisation de solvants et autres produits :
application de peinture, dégraissage et nettoyage à sec, fabrication de produits chimiques, anesthésie et produits de nettoyage.
7. Transports routiers :
voitures, véhicules utilitaires légers, poids-lourds, motos et motocyclettes, évaporation d'essence, pneus, freins...
8. Autres sources mobiles et machines :
activités militaires, ferroviaires, navigation fluviale, trafic aérien, engins spéciaux pour l'agriculture, la sylviculture, l'industrie, les loisirs ...
9. Traitements et élimination des déchets :
incinération, décharges, crémation, traitements des eaux usées, épandages ...
10. Agriculture et sylviculture :
culture avec engrais, sans engrais, ecobuage, fermentation entérique, déjections animales, utilisation de pesticides ...
11. Autres sources et puits :
forêts naturelles de feuillus, de conifères, feux de forêts, prairies, zones humides, eaux, animaux, volcans, foudres, forêts exploitées...

Chapitre 4

Spatialisation et aspect temporel

4.1 L'échelle spatiale

Le choix de l'échelle spatiale correspondant à l'inventaire est fonction de la substance (durée de vie), mais aussi des objectifs de l'inventaire.

Lorsque une étude a une portée locale, l'inventaire est bien souvent partiel et ne porte que sur le procédé étudié : c'est le cas par exemple pour les études d'impacts qui doivent être réalisées au préalable de toute construction d'infrastructure routière ou de procédé industriel. Dans ce cas, l'inventaire n'est constitué que des émissions répertoriées sur le site étudié ou sur l'infrastructure. Parfois, il s'étend à la zone d'étude. L'information sur les émissions non répertoriées est contenue dans ce qu'on appelle en général la concentration de fond.

Pour les inventaires de type réglementaire, la méthodologie Corinair a également introduit une échelle d'espace bien définie. Cette échelle est basée sur un découpage de zones géographiques en NUTS : Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques. Les NUTS sont définies par Eurostat (Office statistique des communautés européennes) sur la base de critères administratifs et de taille. Pour la France, l'échelle des NUTS est la suivante :

- NUTS0 : France entière, métropole et DOM-TOM, 1 Zone
- NUTS1 : Zones Economiques d'Aménagement du territoire, ou ZEAT, 8 zones
- NUTS2 : Régions, 26 zones
- NUTS3 : Départements, 100 zones
- NUTS4 : Arrondissements, 339 zones

Pour les modèles de chimie atmosphérique, l'inventaire doit souvent être très détaillé et correspondre à des mailles d'espaces relativement petites : par exemple, 5*5 km pour l'étude de la pollution régionale, ou 100*100 pour les problèmes de pollution transfrontière. Ces inventaires sont très difficiles à obtenir et constituent de véritables programmes de recherches nationaux (Es-compte pour la région PACA) ou internationaux (Interreg pour la région Alsace et Saxe, EMEP pour l'Europe). La constitution d'inventaire a été également automatisée pour certaines régions (Ile de France, programme Heaven) de façon à pouvoir travailler sur la prévision de la qualité de l'air.

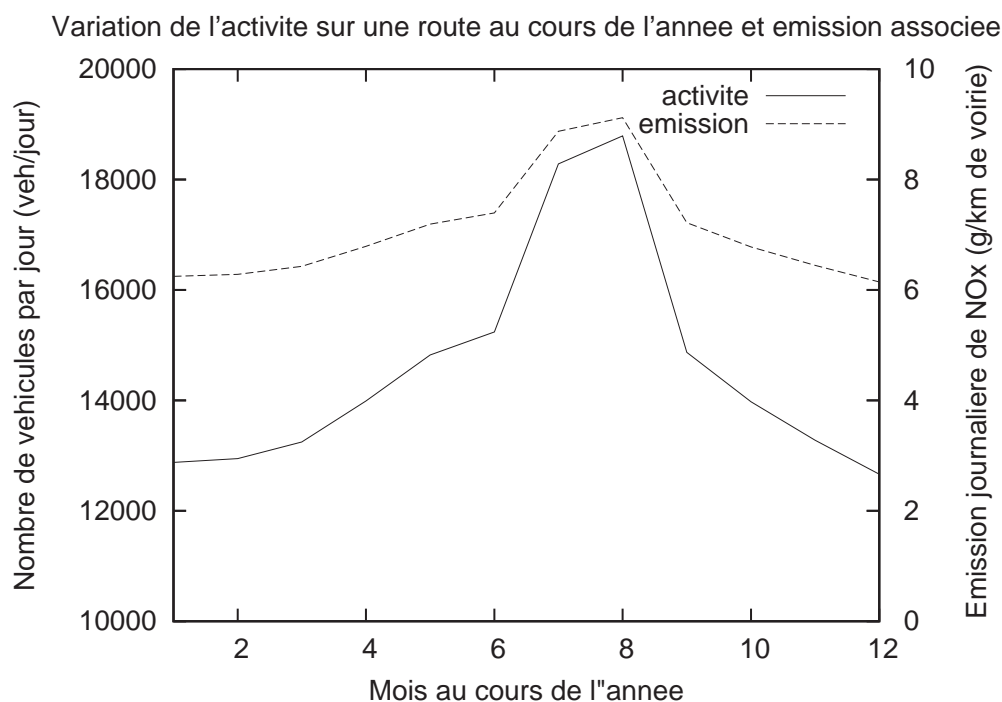


FIG. 4.1 – Exemple d'évolution au cours de l'année du débit journalier moyen de véhicules sur une route touristique

4.2 L'échelle de temps

De même que pour l'échelle d'espace, l'échelle de temps est extrêmement variable selon le problème étudié. L'échelle la plus fréquente est néanmoins l'année car elle correspond bien à la fréquence de remise à jour des statistiques (par exemple, statistiques de vente de carburant ...) qui permettent de caractériser l'activité des émetteurs. Néanmoins, les facteurs unitaires d'émission sont extrêmement variables dans le temps : ils présentent souvent une grande variabilité au cours des saisons : par exemple, les facteurs d'émission de composés volatiles sont sensibles à la température et donc à la saison. Les émissions naturelles des écosystèmes forestiers vont également dépendre de l'état de la végétation, et donc de la saison. Les émissions liées au chauffage correspondent surtout aux périodes de froid ... La dépendance des facteurs d'émission aux conditions extérieures est assez délicate à prendre en compte, notamment parce que la caractérisation de toutes les activités sur des périodes de temps assez courte est assez difficile à mettre en oeuvre. Parfois, on applique des profils d'activités forfaitaires qui permettent de caractériser l'évolution des émissions au cours du temps (voir figure 4.2).

La plupart du temps, les inventaires sont réalisés sur la base d'une année, puis les émissions sont temporalisées à l'aide d'un profil d'activité. C'est l'approche **top-down**, qui à partir d'une émission agrégée, jugée fiable, permet d'estimer des valeurs d'émissions horaires, mensuelles ...

Des moyens automatisés sont mis en place pour augmenter la fréquence de remise à jour des

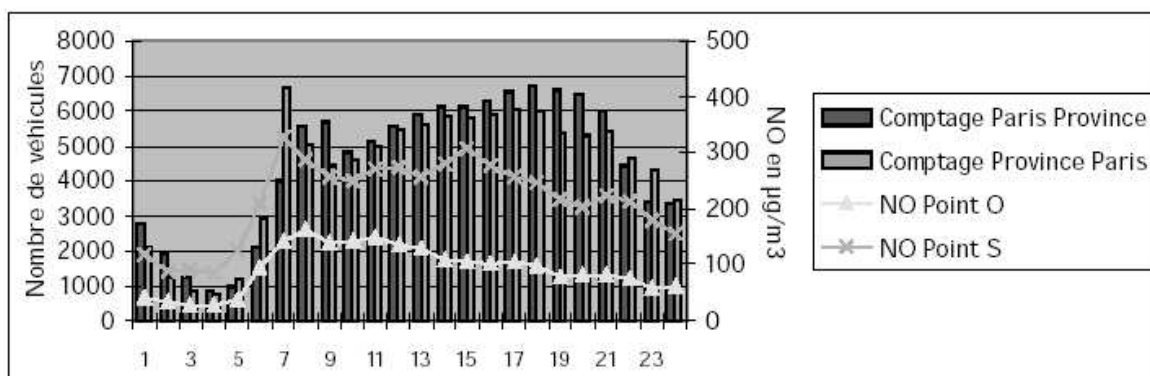


FIG. 4.2 – Activité horaire dans un tunnel (flux de véhicule pour chaque voie) et concentrations mesurées aux abords de celui-ci - Source CETU

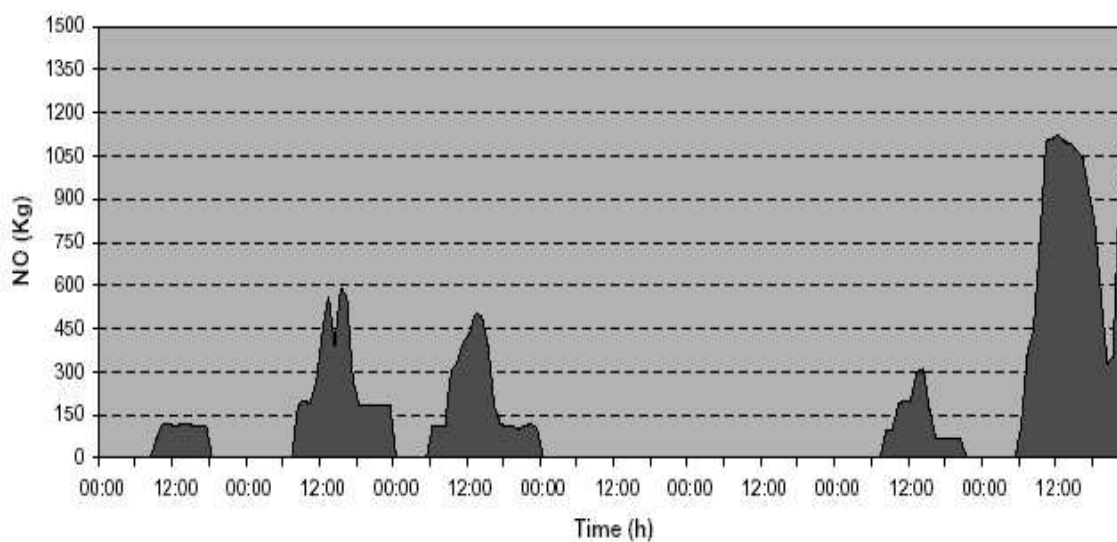


FIG. 4.3 – Emissions de NO d'une cheminée (source ponctuelle) en fonction du temps - source CEREAA

inventaires et les outils les plus modernes permettent de connaître la situation du trafic heure par heure pour actualiser les émissions et réaliser des prévisions de qualité de l'air, par exemple sur la région parisienne.

Chapitre 5

Les inventaires réglementaires et Corinair

Une fois que l'effet néfaste d'une substance dans l'environnement est avéré, on cherche à combattre cet effet par des mesures de restrictions. La mesure la plus simple à envisager est de réduire les émissions de cette substance dans l'environnement : ce sont les mesures de réduction des émissions, qui relèvent en général de décisions politiques. Mais pour savoir sur qui faire porter ces mesures, il faut identifier les émetteurs. L'inventaire permet de faire ce travail d'identification, mais il permet également d'évaluer les marges de manoeuvre de réduction des émissions. Un travail de suivi de l'inventaire permet ensuite de savoir si la mesure a été efficace ou non : par exemple, les législations ont imposé des réductions importantes des émissions de véhicule, mais l'effet ne s'est pas fait sentir immédiatement du fait de l'augmentation importante des kilométrages parcourus par les véhicules, ainsi que du renouvellement assez lent du parc des véhicules. De plus, la pollution ne connaît pas de frontières. Ainsi, l'acidification ou l'effet de serre sont des problèmes qui ne peuvent se régler à l'échelle d'un seul pays. C'est pourquoi les décisions sont bien souvent prises dans un contexte international. Ceci fait apparaître la nécessité de procédures d'inventaires normalisées, permettant de comparer des inventaires entre eux. Nous allons présenter ici un bref historique de la politique de la pollution de l'air, ce qui nous permettra de présenter quelques inventaires dits de type réglementaire (chaque pays a obligation de réaliser cet inventaire et de le faire connaître aux autres pays). Dans cette partie, il est fait référence à de nombreux sigles expliqués en annexe.

5.1 Les grandes conventions mondiales sur l'environnement

5.1.1 La convention sur la pollution transfrontière longue distance

La première convention sur la pollution transfrontière a longue distance (LRTAP : Longue Range Transboundary Air Pollution) a été adoptée à Genève en 1979. Cette convention part de l'observation que les polluants dans l'air peuvent parcourir plusieurs milliers de kilomètres avant de se déposer et causer des dommages (acidification, eutrophisation, ozone, tropospheric, rejet accidentelles de substances potentiellement dangereuse). Pour aborder ce problème, l'UNECE a signé cette convention qui est entrée en application en 1983. Elle a été suivie de plusieurs protocoles, dépendant de cette convention et fixant des objectifs. :

- Protocole de Genève sur le programme EMEP (1984)

- Protocole d’Helsinki sur le soufre (1985)
- Protocole de Sofia sur les NO_x (1988)
- Protocole de Genève sur les COV (1991) - EMEP
- Protocole d’Oslo sur le soufre (1994)
- Protocole d’Aarhus sur les métaux lourds et les POP (1998)
- Protocole de Gothenburg sur la réduction de l’acidification (1999)

La convention prévoit que les signataires ont une obligation d’évaluer leurs émissions annuelles de SO₂, NO_x, NMVOC, CH₄, CO, NH₃, certains métaux lourds et les POPs, en distinguant les émissions en fonction des catégories d’émetteurs (SNAP). Ces inventaires doivent être remis chaque année à l’UNECE et doivent correspondre à un formulaire spécial. Les signataires sont également invités à évaluer leur émissions de façon plus détaillée. Ils doivent également fournir périodiquement des données d’émissions sur une grille spatialisée de 50km*50km (inventaire EMEP, sur la grille EMEP). Les évaluations doivent se faire à partir du livre de référence ‘EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook’. L’utilisation d’autre méthodologie doit être justifiée.

5.1.2 La convention sur le changement climatique

Cette convention a pour sigle UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). Elle a été adoptée à New York en 1992 et est entrée en vigueur en 1994, après avoir été ratifiée par 166 pays. Elle a été suivie du protocole de Kyoto, écrit en 1997 et ratifié depuis par 84 pays. Ce protocole peut être ratifié par un pays à n’importe quel moment. Les parties qui l’adoptent stabilisent leurs émissions de gaz à effet de serre à un niveau qui permette de prévenir des interférences entre les activités anthropiques et le climat. Ce niveau doit être atteint dans une durée telle que les écosystèmes puissent s’adapter naturellement aux changements climatiques, de façon à assurer que les productions alimentaires ne soit pas menacées et que le développement économique soit durable (Article 2). Il n’est pas encore entré en vigueur car il n’a pas été ratifié par suffisamment de pays. Il prévoit une diminution des émissions de 8% à l’horizon 2008-2012 par rapport au niveau de 1990 pour les pays européens.

Les parties doivent également produire et publier des inventaires périodiques des émissions de gaz à effet de serre, par type de sources, ainsi que les émissions enlevables par type de puits, en utilisant des méthodologies de calcul comparables et agréées par les parties. Les pays doivent présenter leurs inventaires de sources et puits chaque année, au 15 avril et pour l’année antépénultième. Les substances concernées sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l’oxyde nitreux (N₂O) les perfluorocarbones (PFC), les hydrofluorocarbones (HFC) et le sulfure hexafluorure (SF₆). Mais les pays sont également encouragés à produire des informations sur les émissions de CO, NO_x, COV non méthaniques et même pour le SO₂. Ces inventaires doivent être réalisés selon le guide ‘IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas’, révisé en 1996. D’autres méthodes peuvent être utilisées si elles permettent de refléter une réalité nationale plus précise, si elles sont bien documentées et compatibles avec les règles de l’IPCC.

Dans le contexte de cette convention, des efforts sont entrepris de façon à améliorer la trans-

parence, la consistance, la comparabilité, la précision et l'exhaustivité des inventaires d'émissions (programme de travail IPCC-OECD-IEA sur les inventaires). C'est pourquoi les formats réglementaires d'inventaires d'émissions continuent à évoluer régulièrement.

5.1.3 La convention sur la protection de la couche d'ozone

La Convention a été adoptée par la Conférence sur la protection de la couche d'ozone et ouverte à la signature à Vienne en mars 1985. En 1981, le Conseil d'administration créait un groupe de travail spécial chargé de définir le cadre juridique mondial dans lequel inscrire la protection de la couche d'ozone. L'objectif était de produire un traité général qui permette de s'attaquer au problème de l'appauvrissement de la couche d'ozone. On comptait que la première étape, qui consisterait à s'accorder sur un instrument-cadre, serait relativement aisée et que les difficultés commenceraient lorsque les Parties chercheraient à convenir de protocoles définissant des réglementations spécifiques.

Mais même la première étape, pourtant relativement facile en théorie, s'est avérée très ardue. La Convention pour la protection de la couche d'ozone sur laquelle les parties prenantes se sont finalement accordées à Vienne en 1985 ne contenait, en fait, aucune disposition radicale. Les Nations convenaient, par cet instrument, de prendre des mesures appropriées pour protéger la santé de l'homme et de l'environnement des impacts négatifs résultant, ou pouvant résulter, d'activités humaines modifiant, ou susceptibles de modifier, la couche d'ozone. Ces mesures restaient cependant extrêmement vagues. Aucune substance pouvant être nocive pour la couche d'ozone n'était citée et les CFC qui n'apparaissaient qu'à la fin de l'annexe étaient seulement mentionnés comme des produits qui devraient être réglementés. Le seul point fort, pour ainsi dire, de la Convention était d'encourager la recherche, la coopération et l'échange d'informations entre pays. Et il avait fallu quatre ans pour parvenir à ce résultat et pour s'accorder sur son libellé. Si vingt pays ont signé la Convention à Vienne en 1985, la ratification, dans la plupart des cas, a pris beaucoup plus de temps. La Convention prévoyait néanmoins l'adoption de protocoles et des procédures spécifiques pour apporter des amendements et régler les différends.

La Convention de Vienne, malgré la longueur de ses négociations et leur difficulté, n'en a pas moins constitué une initiative sans précédent. Pour la première fois les Nations convenaient, en principe, de s'attaquer ensemble à un problème environnemental mondial avant que ses effets ne se fassent sentir ou même que son existence ne soit scientifiquement prouvée.

Le Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone a finalement été arrêté au Siège de l'Organisation de l'aviation civile internationale à Montréal après une série de réunions et de négociations rigoureuses qui aboutirent à des résultats beaucoup plus importants que ceux escomptés dans un premier temps.

Le caractère délicat de ces négociations transparait dans le texte final qui prévoit des clauses spécifiques pour plusieurs groupes de pays en situation particulière. C'était notamment le cas pour les pays en développement qui, consommant peu de substances décomposant l'ozone, craignaient que l'application du Protocole ne fasse obstacle à leur développement. Le Protocole est caractérisé par une grande souplesse, et c'est là l'un de ses points forts. Il est ainsi possible, si de nouvelles données scientifiques l'exigent, de durcir ses dispositions sans pour cela devoir tout renégocier. Son

objectif final est l'élimination des substances qui appauvrissent la couche d'ozone. Le Protocole est entré en vigueur à la date prévue, le 1er janvier 1989, après avoir été ratifié par 29 pays et la Communauté économique européenne. Ces signataires représentaient approximativement 82 % de la consommation mondiale en substances qui appauvrissent la couche d'ozone ; depuis de nombreux autres pays ont rejoint leurs rangs.

Le Protocole constituait seulement un premier jalon, mais posé au bon moment. Une fois le principe acquis, les événements se sont précipités à un rythme étonnant. A mesure que se précisaient les connaissances scientifiques et qu'elles appelaient un durcissement des dispositions et un renforcement des réglementations se précisait et se radicalisait l'engagement des gouvernements et l'industrie, et ce beaucoup plus rapidement que prévu.

5.2 Historique de la méthodologie de calcul des émissions

Au cours de ces 20 dernières années, plusieurs initiatives internationales ont conduit à élaborer la méthodologie de calcul des émissions dans sa version actuelle :

- le projet MAP (Major Air Pollutant) de l'OCDE
- l'inventaire DGXI
- le programme CORINE de l'EEA
- le programme EMEP
- le programme GGEP de l'IPCC/OCDE

5.2.1 Le projet MAP

Il a été réalisé pour déterminer les épisodes de pollution liés aux oxidants photochimiques en Europe de l'Ouest et pour évaluer l'impact de différentes stratégies de contrôle de ces épisodes. Le projet a démarré en 1983 et a été publié en 1990. L'inventaire MAP a couvert les polluants suivants : SO₂, NO_x et COV et il inclut les sources naturelles. Il quantifie les sources ponctuelles et diffuses pour 9 secteurs principaux, sur 17 pays européens de l'OCDE.

Les 9 secteurs considérés sont le transport, les usines de production d'électricité, les sources de combustion non industrielles, l'industrie, l'évaporation de solvant organique, les traitements de déchets, l'agriculture/agroalimentaire, la nature et le reste.

5.2.2 L'inventaire DGXI

En 1985, le directoire de l'environnement du GEC a financé un inventaire pour l'Europe des 12 pour les années 1980 et 1983. L'objectif de cet inventaire a été de leur produire les données nécessaires pour réaliser des études de pollution de l'air et évaluer des stratégies de contrôle. L'inventaire couvrait 4 polluants (SO₂, NO_x, VOC, particules) pour 10 principaux secteurs (utility power plant, industrial combustion plant, district heating, oil refineries and petrochemical plant, domestic heating, industrial processes, solvent use, transportation, agriculture, nature). Cet inventaire a été rendu public en 1988. Ce travail a été conduit en collaboration avec les réalisateurs du projet MAP.

5.2.3 Le programme CORINE

Une décision du conseil européen a établi un programme de travail concernant la collecte de données cohérentes sur l'état de l'environnement et des ressources naturelles dans la communauté européenne. Il s'agit du programme **CORINE** (Co-Ordination d'INformation Environnementale). Ce projet incluait notamment la collecte et l'organisation de données d'émissions en rapport avec les problèmes d'acidification. Le projet a démarré en 1986, avec pour objectif de réaliser un inventaire coordonné des émissions atmosphériques pour les 12 pays membres de la communauté européenne en 1985. Cet inventaire a pour nom **CORINAIR 1985**. Cet inventaire couvre 3 polluants (SO₂, NO_x et COV) distribués en 8 secteurs (combustion including power plant but excluding other industry, oil refineries, industrial combustion, processes, solvent evaporation, road transportation, nature, divers). Le projet a également permis de développer une nomenclature pour les secteurs d'activité, (NAPSEA, Nomenclature for Air Pollution Socio-Economic Activity), ainsi que la nomenclature SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution - for emission source sectors, sub-sectors and activities). Ce programme a permis d'éditer un état de l'art sur les facteurs d'émission (Default Emission Factor Handbook) et de réaliser un programme informatique d'entrée des données pour le calcul sectoriel, régional ou national des émissions. Cet inventaire a été réalisé en collaboration avec les pays membres, Eurostat, l'OCED et l'UNECE/EMEP. Il a été terminé en 1990 et largement diffusé (Eurostat, 1991 ; CEC, 1995) sous la forme de tableaux ou de cartes.

En 1991, une décision a été prise pour produire une version *up-to-date* de CORINAIR1985 pour l'année 1990 **CORINAIR90** en coopération avec le groupe de travail EMEP et l'IPCC-OECD, en préparation des inventaires requis pour la convention sur la pollution transfrontière (LRTAP) et celle sur le changement climatique. Ce travail a débouché sur une nomenclature plus détaillée pour les émetteurs avec la nomenclature SNAP, qui comprend 260 activités groupés en 11 secteurs principaux. Les polluants inclus sont le SO₂, les NO_x, les composés organiques volatiles non méthaniques, le méthane, le CO, l'ammoniaque, le N₂O, le CO₂. Le nombre de grandes sources ponctuelles a été augmenté. Le système Corinair a été étendu à 30 pays. C'est pour ce second projet que la nécessité d'avoir des inventaires complets consistants et transparents a été clairement reconnu, ainsi que l'intérêt d'avoir des inventaires ayant une précision suffisante pour être utilisés à des fins législatives, de recherches ou autres. Dans l'esprit de Corinair, l'exhaustivité de l'inventaire vient autant du fait qu'il est disponible pour tous les pays européens que du fait d'avoir mis au point une liste d'activités compréhensibles et très détaillées des activités susceptibles de générer des polluants. La consistance est garantie par l'utilisation du logiciel lié à Corinair. La transparence est liée à l'unicité de la méthode. Les premières données disponibles de l'inventaire Corinair90 ont été disponibles en 1994, puis ont été complétées par une série de rapport en 1995 et 1996. Le travail a été finalisé et publié par l'EEA en 1996 et 1997.

5.2.4 Le programme EMEP

EMEP est le programme de surveillance et d'évaluation associé à la convention LRTAP. Il a conduit à former une série de groupes de travail sur les techniques d'inventaires d'émission pour développer une méthodologie de calcul et de format pour les émissions de SO_x, NO_x, NMVOCs,

CH₄, NH₃ and CO. Le premier Workshop de 1991 a recommandé qu'un groupe de travail sur les inventaires d'émission soit créé par le pouvoir exécutif de cette convention. Ses missions seront d'évaluer les méthodes actuelles d'inventaires et de proposer des améliorations et une harmonisation des méthodes et des formats de présentation. Ce travail devait se faire en liaison avec le projet Corinair. Les objectifs de ce groupe de travail étaient :

- de fournir un forum de discussion, d'échange d'information et d'harmonisation sur les inventaires d'émissions, incluant les aspects facteurs d'émission, méthodologie...
- d'évaluer en profondeur la qualité des facteurs d'émission et méthodologie en usage.
- de coopérer avec d'autres organisations internationales sur le sujet afin d'harmoniser les méthodes et d'éviter la duplication du travail.

La première réunion du groupe de travail s'est tenue à Londres (UK) en 1992 et a permis de désigner les experts chargés de faire progresser le travail. Une seconde réunion, à Delft (Pays Bas) a conduit à la proposition d'un guide commun lié au programme EMEP et Corinair : c'est le guide **EMEP/Corinair Emission Inventory Guidebook**. En 1994, les premiers rapports provisoires du guide ont été examinés à Regensburg (Allemagne). Là, on a également cherché à intégrer les travaux réalisés par le groupe de travail TFEP (task force on emission projections) sur les projections d'inventaires d'émissions. Les seconds rapports ont été examinés en 1995, à Oslo (Norvège). Il a été décidé que le groupe de travail TFEI fusionnerait avec le groupe TFEP pour devenir le groupe TFEIP (task force on Emissions Inventories and Projections). Les meetings suivants ont eu lieu à Oxford (UK) en 1996, à Apeldoorn (Pays Bas) en 1997 à Wiesmar (Allemagne) en 1998 et Roskilde en 1999 et ont conduit à la finalisation du guide publié en 1999 par l'EEA. Depuis, des réunions se sont tenues à Rome (Italie) en 2000 et à Genève (Suisse) en 2001 pour réviser la procédure de rapport des inventaires EMEP.

5.2.5 Le programme IPCC/OECD/IEA sur l'effet de serre

En Février 1991, l'OCDE a tenu une réunion de travail à Paris sur les méthodologie d'inventaire des gaz à effets de serre à propos d'un rapport de l'OCDE sur le sujet. Le groupe a ainsi élaboré un consensus portant sur la reconnaissance de ce document méthodologique de base comme point de départ et proposant un plan de travail de 2 ans pour améliorer la méthodologie. Ce plan de travail a été adopté par l'IPCC. L'amélioration de la méthodologie porte sur la mise à disposition des meilleures données scientifiques disponibles et leur actualisation, l'élaboration d'une méthodologie simple pour tous mais l'élaboration d'une méthode plus détaillée pour les pays qui le souhaitent. Enfin, la nécessité de transparence et de consistance est toujours un mot d'ordre.

Ce programme a conduit à l'élaboration d'un rapport provisoire sur la méthodologie d'inventaires des gaz à effet de serre (3 volumes, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), publié officiellement en 1994. Ce guide a ensuite été révisé et mis à jour au début 1995, juste avant la première conférence de Berlin sur les particules. Puis il a encore fait l'objet de mises à jour en 1996 et 1997 pour donner 3 volumes du 'Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories' (IPCC/OECD/IEA, 1997). Ce guide couvre les sources majeures de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O, mais aussi HFC, PFC, SF₆). Il permet également des estimations concernant les précurseurs de l'ozone (NO_x, CO et COVNM) et fournit quelques informations

concernant SO₂ et NH₃, qui, en favorisant la formation d'aérosols, jouent sur le bilan radiatif et peuvent avoir un impact négatif dans le réchauffement de la planète. Ce guide de l'IPCC considère 6 secteurs (toutes énergies, procédés industriels, solvants et autres usages de produits, agriculture, autres usages du sol et forêts, déchets).

Le groupe Corinair a travaillé étroitement avec le groupe IPCC/OCDE/IEA de façon à assurer la compatibilité entre les deux formats (format EMEP/Corinair et format IPCC). C'est d'ailleurs ainsi que la nomenclature SNAP a été révisée en 1997 et incluse dans ce nouveau guide. SNAP97 est complètement en lien avec le guide IPCC et le travail d'harmonisation se poursuit.

5.2.6 Le Toxics Release Inventory (TRI) de l'EPA des Etats-Unis

Au cours des années passées, l'EPA a exigé de certaines installations qu'elles déclarent leurs pratiques de gestion des déchets ainsi que leurs rejets et transferts de certains produits chimiques toxiques fabriqués, traités ou utilisés d'une autre manière à certains seuils. Les seuils de déclaration sont de 25 000 livres (11 364 kg) pour les produits chimiques qui sont fabriqués ou traités et de 10 000 livres (4 545 kg) pour les produits chimiques qui sont utilisés d'une autre manière. Pour l'année de déclaration 2000, l'EPA a revu les seuils de déclaration pour certaines substances qui perdurent et s'accumulent dans l'environnement, modifié d'autres exigences de déclaration pour les produits chimiques persistants, bioaccumulables et toxiques et elle a ajouté différents autres produits chimiques à la liste.

Le seuil établi à 5 kg pour le mercure et ses composés est compatible avec le nouveau seuil de 10 livres (4,5 kg) adopté, pour l'année de déclaration 2000, dans le cadre du TRI de l'EPA des Etats-Unis.

Le seuil de déclaration de 50 kg établi pour les HAP est aussi compatible avec le TRI de l'EPA qui a, pour l'an 2000, ramené son seuil de déclaration des HAP à 100 livres (45,4 kg).

5.3 Les instances européennes

5.3.1 L'Agence Européenne de l'Environnement - E.E.A.

L'agence européenne de l'environnement a été créée par la directive 1210/90 et a commencé un travail effectif en 1993. L'objectif général de l'agence est de fournir des informations objectives, comparables et crédibles pour et sur l'ensemble des Etats de l'Union afin de leur permettre de prendre les mesures requises pour protéger leur environnement, évaluer l'effet de ces mesures et s'assurer que le public est correctement informé à propos de l'état de l'environnement. Le domaine géographique couvert par l'EEA ne se limite pas aux membres de l'Union Européenne mais s'étend également aux autres pays du continent. L'agence européenne publie régulièrement des rapports sur l'état de l'environnement en Europe. Depuis, un second programme pluriannuel 1999-2003 a été adopté et précise que l'EEA doit également fournir des informations utiles pour faciliter l'adoption de mesures environnementales et qu'elle devrait définir un certain nombre de priorités dont les émissions atmosphériques de polluants.

5.3.2 Le Centre Européen de l’Air et du Changement Climatique

Le centre européen de l’air et du changement climatique (European Topic Centre on Air and Climate Change - ETC/ACC) est constitué par différents partenaires (TNO-MEP (Pays-Bas) UmweltBundesAmt-Berlin (Allemagne), Oeko-Institut (Allemagne), UmweltBundesAmt-Vienne (Autriche), Norwegian Air Research Center (Norvège), les centres EMEP (Norvège et Autriche), Université technique d’Athènes (Grèce), Université Aristote de Thessalonique (Grèce), AEA Technology (UK), Institut slovaque d’hydrométéorologie (Slovaquie), l’institut tchèque d’hydrométéorologie (République tchèque). Ce centre européen apporte un soutien aux experts de l’EEA et il s’assure de la qualité des données d’émissions dans l’air au niveau européen, des objectifs et du suivi des programmes de travail. L’ETC/ACC aide également à produire les données environnementales des principaux pays européens, pour les problèmes fondamentaux que sont le changement climatique, le trou de la couche d’ozone, l’acidification, la contamination accidentelle et la qualité de l’air en milieu urbain. C’est l’ETC/ACC qui a la charge de produire la nomenclature de l’inventaire annuel CORINAIR et il assiste les pays participants à transcrire leurs émissions selon le système Corinair. Il développe également des outils logiciels (CERCERRER - CollectER, Collect Emission Register and Reporter , Copert3 - Computer Program for Estimating Emissions from Road Transport) et organise des séminaires sur ces thèmes.

5.3.3 La commission européenne, DG Environnement

Les conventions mondiales (CLRTAP, UNFCC..) obligent l’Europe à produire des inventaires d’émission auprès d’organisations mondiales. C’est la commission européenne, DG environnement, qui a la charge de produire ces inventaires. Elle est assistée pour cela par l’ETC/ACC. Les obligations de niveau mondial doivent être harmonisées avec les obligations européennes, ce qui explique le soin constant apporté à l’harmonisation des différents types d’inventaires.

Glossaire

.1 Les programmes internationaux

– CORINAIR

(CORe INventory of AIR emissions). Corinair est un projet qui se poursuit depuis 1995 avec le Centre Européen sur les Emissions dans l'Air et l'Agence Européenne de l'Environnement. Son but est de collecter, maintenir, gérer et publier les informations sur les émissions dans l'air, via un système de bases de données et d'inventaire européen. Toutes les émissions sont concernées (effets : changement climatique, acidification, eutrophisation, ozone troposphérique, qualité de l'air, dispersion accidentelle de substances dangereuses). Il couvre une zone géographique incluant les 15 membres de l'Union, mais aussi l'Islande, le Liechtenstein, la Norvège, la Bulgarie, Chypre, Malte, la Sloveenie, la Lituanie et la République Slovaque, la République Tchèque, l'Estonie, la Hongrie, la Pologne, la Roumanie.

Pour plus d'informations, voir <http://etc-ae.eionet.eu.int/etc-ae/index.htm>

– CORINE

programme européen précédent Corinair (avant 1995). Il correspond à la décision du Conseil Européen 85/338/EEC.

– EMEP

Programme de coopération pour la surveillance et l'évaluation de la pollution transfrontière. Il est rattaché à la convention sur la pollution transfrontière (voir LRTAP). Son objectif est de fournir une information scientifique de qualité pour accompagner le développement et l'évaluation des protocoles internationaux de réduction des émissions négociés dans la convention. EMEP est constitué de 3 composants : la collection de données d'émissions (SO_x, NO_x, NMVOC, CH₄, NH₃ et CO), la mesure de la qualité de l'air et des précipitations, la modélisation de la dispersion atmosphérique. Actuellement, on compte plus de 200 stations d'observations dans 35 pays européens participant au programme. Le travail d'EMEP est évalué et coordonné par un 'Steering body' lié au pouvoir exécutif de la convention LRTAP. En 1991, le corps exécutif a également mis en place un programme de recherche sur les inventaires d'émission (voir TFEI). Pour plus d'information, voir <http://www.emep.int/index.html>

– TFEI

(Task Force on Emission Inventories) Créée en 1991 par le corps exécutif de la convention LRTAP, en support au travail de EMEP. Il est financé par l'UNECE (United Nations Economics

Comission for Europe). En 1995, il a été fusionné avec le groupe TFEP pour devenir TFEIP. Pour plus d'informations, voir <http://www.tfeip-secretariat.org>.

- TFEIP
(Task Force on Emission Inventories and Projections). voir TFEI
- TFEP
(Task Force on Emission Projections). voir TFEI

.2 Les structures européennes et internationales sur l'environnement

- DG Environment
(Directorate-General Environment of the European Commission). Elle est responsable des réglementations relatives à l'environnement, la sûreté nucléaire et la protection civile. Son action est basée sur une stratégie définie en 1992 par le 5^{ime} programme d'action et de réglementation en relation avec l'environnement et le développement durable. La DG-Environnement est basée à Bruxelles et au Luxembourg. Pour plus d'information, voir http://europa.eu.int/comm/environment/index_en.htm
- DGXI
(Directorate-General XI of the European Commission), appelée maintenant Directorate-General Environment.
- EEA
(European Environment Agency). L'agence européenne de l'environnement a été fondée en 1993 avec l'objectif de fournir à la communauté et aux pays membres des informations comparables et fiables pour prendre les mesures adéquates de protection de l'environnement, évaluer le résultat de ces mesures et garantir que le public est correctement informé de l'état de son environnement. Son mandat est défini par le règlement EEC1210/90, amendé en 1999 par le règlement 933/1999. L'agence européenne travaille avec les pays membres ainsi que d'autres pays européens partenaires. Pour plus d'informations, <http://www.eea.eu.int>.
- ENERO
(European Network of Environmental Research Organisations) inclut NETCEN (UK), Ris (Denmark), ENEA (Italy), TNO (Netherlands).
- ETC
(European Topic Centre) Cette organisation est financée par l'EEA pour exécuter des tâches, dont : collectes, maintenance, gestion et publication de données, analyses de données, liens avec d'autres informations. Pour plus d'info, voir <http://www.eionet.eu.int>.
- EU
(the European Union) actuellement 15 pays membres : Austria, Belgium, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Luxembourg, The Netherlands, Portugal, Spain,

Sweden and the United Kingdom. Pour plus d'information, voir <http://www.europa.eu.int>.

– Eurostat

(Statistical Office of the European Communities), Sa mission est fournir l'union européenne en données statistiques de qualité, d'uniformiser les règles de collectes et d'analyses des différents instituts statistiques de chaque pays. Pour plus d'information, voir <http://europa.eu.int/comm/eurostat>.

– IEA

(International Energy Agency) Basée à Paris, c'est une agence autonome liée à l'OECD (Economic Co-operation and Development). Son secrétariat collecte et analyse les données relatives à l'énergie des pays membres qui lui sont rattachés. Elle réalise également des projections basées sur différents scénarios, prépare les études et les recommandations sur le sujet de l'énergie. Pour plus d'informations, voir <http://www.iea.org/>.

– IPCC

(Intergovernmental Panel on Climate Change) Il a été créé en 1988 par l'organisation mondiale de la météorologie (WMO) et le programme sur l'environnement des Nations Unies (UNEP) pour déterminer la connaissance scientifique, techniques, socio-économique disponible dans le domaine du changement du climat. L'IPCC est divisé en 3 groupes :

Working group I : information scientifique sur le changement de climat.

Working group II : impact environnemental et socio-économique du changement de climat.

Working group III : stratégies économiques et sociales de lutte.

L'IPCC a fourni un rapport complet (3^{ième} rapport) en 2000. Pour plus d'informations, voir <http://www.ipcc.ch/>.

– OECD

(Organisation for Economic Co-operation and Development), Cette organisation a été créée en 1961 pour fournir aux gouvernements de ses membres un forum pour discuter, développer et parfaire leurs mesures sociales et économiques. Elle comporte 29 membres, qui à travers l'OECD, comparent leurs expériences, répondent ensemble à des problèmes communs et coordonnent leurs politiques intérieures et internationales. Pour plus d'informations, voir <http://www.oecd.org/>.

– UN ECE

(United Nations Economic Commission for Europe) L'UNECE est un forum dans lequel les pays du Nord (Amérique du Nord, Europe et Europe de l'Est, Asie Centrale) viennent développer des outils de coopération économique. Son principal objectif est d'harmoniser les réglementations et les pratiques de ses membres, de faciliter les investissements économiques, l'intégration des réseaux de transports et de rendre les procédures environnementales plus efficaces. Pour plus d'information, voir <http://www.unece.org>.

– US EPA

(United States - Environmental Protection Agency) Ces missions sont de protéger la santé hu-

maine et de sauvegarder l'environnement naturel (air, eau, terre) dont dépend la vie. Pour plus d'informations, voir <http://www.epa.gov>.

.3 Les sources d'informations et nomenclature

- MAP
(control of Major Air Pollutants project) Inventaires réalisés par l'OECD pour étudier les épisodes de pollution aux oxydants photochimiques et évaluer l'impact de différents scénarios de contrôle des émissions pour ces épisodes. L'inventaire MAP inclut les polluants suivants :SO₂, NO_x, and VOCs,dont les émissions naturelles. Le projet a démarré en 1983 et le rapport a été publié en 1990.
- NFR
(Nomenclature For Reporting] C'est un système de classification développé par l'UNECE TFEIP.
- NOSE
(Nomenclature of Sources of Emissions) Le système NOSE a été développé par Eurostat pour faciliter la description des sources d'émissions en relation avec la révision NACE ainsi qu'avec des caractéristiques des procédés techniques. Elle est basée sur la liste NOSE-P (nose process list) tirée de la nomenclature CorinairSNAP.
- PRTR
(Pollution Release and Transfer Register) C'est une base de données environnementales des substances potentiellement dangereuse rejetées dans l'air, l'eau et les déchets. Les PRTR collectent les données pur les sources stationnaires, mais inclut aussi des estimations des rejets de sources diffuses liées à l'agriculture, aux transports... Pour plus d'informations, voir <http://www.oecd.org//ehs/prtr/index.htm>.
- SNAP
(Selected Nomenclature for sources of Air Pollution) voir cours, développée par Corinair pour distinguer les émissions par secteurs et sous-secteurs d'activité.
- TRI
(Toxic Release Inventory) Revue des émissions de substances chimiques toxiques de l'industrie aux USA. Pour plus d'information, voir <http://www.epa.gov/tri/>.

.4 Glossaire des polluants

Voir aussi le chapitre correspondant, 'les substances'

- CH₄ - Methane
- CO - Carbon Monoxide

- CO₂ - Carbon Dioxide
- HFCs - HydroFluoroCarbons
- HM - Heavy Metals (e.g. Lead, Cadmium and Mercury etc)
- NH₃ - Ammonia
- NMVOCs - Non-Methane Volatile Organic Compounds
- NO_x - Oxides of Nitrogen
- N₂O - Nitrous Oxide
- NO - Nitric Oxide or Nitrogen Monoxide
- NO₂ - Nitrogen Dioxide
- PAHs - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
- PFCs - PerFluoroCarbons
- PM_{2.5} - Ultra-Fine Particulates, size 2.5 μm or less
- PM₁₀ - Fine Particulates, size 10 μm or less
- POPs - Persistent Organic Pollutants (e.g. Polychlorinated Biphenols, Dioxins, etc.)
- SF₆ - Sulphur Hexafluoride
- SO₂ - Sulphur Dioxide
- TOPs - Total Ozone Precursors, includes : NO_x, NMVOCs, CO and CH₄
- TSP - Total Suspended Particulates
- VOCs - Volatile Organic Compounds = COV en français

.5 Facteurs d'émissions des transports routiers

		1990	1995	2000	2005	2010	2015
CO (g/km)							
urbain	VP+VUL	53,72	21,69	12,32	8,34	4,87	3,05
urbain	PL	4,88	4,30	3,18	2,46	1,79	1,29
urbain	2Roues	17,72	17,98	16,50	14,09	11,07	7,27
route	VP+VUL	7,69	5,30	2,39	1,00	0,44	0,27
route	PL	2,46	2,18	1,65	1,35	0,99	0,71
route	2Roues	20,35	20,00	18,66	13,30	9,00	5,37
autoroute	VP+VUL	6,41	3,43	1,84	1,15	0,72	0,51
autoroute	PL	1,78	1,60	1,32	1,19	0,91	0,67
autoroute	2Roues	29,06	28,48	29,57	29,62	30,44	32,48
NOx (g/km)							
urbain	VP+VUL	1,89	1,52	1,15	0,83	0,54	0,39
urbain	PL	19,21	16,99	12,90	10,06	7,14	5,21
urbain	2Roues	0,06	0,07	0,06	0,07	0,10	0,11
route	VP+VUL	1,66	1,22	0,76	0,50	0,32	0,24
route	PL	12,78	11,31	8,47	6,81	4,81	3,44
route	2Roues	0,19	0,20	0,20	0,18	0,16	0,16
autoroute	VP+VUL	2,46	1,78	1,06	0,65	0,39	0,26
autoroute	PL	9,92	8,80	6,52	5,31	3,81	2,71
autoroute	2Roues	0,40	0,36	0,36	0,45	0,58	0,81
NMVOC (g/km)							
urbain	VP+VUL	4,90	3,58	1,72	0,82	0,44	0,31
urbain	PL	2,71	2,39	1,80	1,45	1,05	0,74
urbain	2Roues	6,92	7,30	5,94	5,48	4,69	3,58
route	VP+VUL	0,93	0,76	0,34	0,14	0,07	0,04
route	PL	1,22	1,10	0,89	0,77	0,58	0,41
route	2Roues	3,25	3,17	2,32	1,75	1,07	0,44
autoroute	VP+VUL	0,64	0,60	0,24	0,09	0,03	0,02
autoroute	PL	0,80	0,73	0,61	0,54	0,41	0,29
autoroute	2Roues	1,43	1,80	1,75	1,73	1,73	1,75

TAB. 1 – Facteurs unitaires d'émission de polluants, agrégés à partir de caractéristiques de parc national et fonction de l'usage des véhicules - d'après Sources Inrets2001

		1990	1995	2000	2005	2010	2015
		PM (mg/km)					
urbain	VP+VUL	276,50	174,88	142,99	110,63	83,53	70,32
urbain	PL	1176,55	1074,16	721,22	475,26	256,10	99,30
urbain	2Roues	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
route	VP+VUL	82,53	90,35	66,12	45,45	31,24	25,27
route	PL	678,49	611,61	385,81	251,46	133,54	50,07
route	2Roues	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
autoroute	VP+VUL	88,49	100,07	86,97	64,61	36,90	20,78
autoroute	PL	497,61	448,99	279,98	183,11	97,83	35,75
autoroute	2Roues	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		CO2 (g/km)					
urbain	VP+VUL	369,96	316,66	306,18	303,11	301,03	299,55
urbain	PL	1242,90	1267,22	1345,96	1370,10	1374,03	1424,11
urbain	2Roues	95,32	101,23	100,02	107,01	115,82	129,20
route	VP+VUL	165,04	169,95	167,56	167,61	168,01	168,90
route	PL	915,36	929,89	961,62	965,89	945,57	977,70
route	2Roues	84,55	96,10	91,11	78,20	67,26	57,94
autoroute	VP+VUL	203,60	199,74	191,31	188,36	187,81	187,72
autoroute	PL	842,43	856,13	876,65	879,09	869,94	886,03
autoroute	2Roues	117,05	119,57	118,19	230,53	157,66	199,10

TAB. 2 – Facteurs unitaires d'émission de polluants, agrégés à partir de caractéristiques de parc national et fonction de l'usage des véhicules - d'après Sources Inrets2001

Bibliographie

- [1] Changement climatique :
voir <http://www.unfccc.de>

- [2] Pollution transfrontière :
<http://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html>

- [3] CITEPA
<http://www.citepa.org/emissions/nationale/index.htm>

- [4] ADEME
Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
<http://www.ademe.fr>

- [5] CCE - DG Environnement
Commission des Communautés Européennes - Direction Générale Environnement
<http://europa.eu.int/comm/environment>

- [6] EUROSTAT
Office Statistique des Communautés Européennes
<http://europa.eu.int/comm/eurostat>

- [7] AEE
Agence Européenne pour l'Environnement
<http://www.eea.eu.int>

- [8] US Environmental Protection Agency
<http://www.epa.gov/>

- [9] CEREAs - Laboratoire d'environnement atmosphérique
<http://www.enpc.fr/cereas>