

Pollution atmosphérique

Bruno Sportisse, sportiss@cerea.enpc.fr

CEREA, Joint Laboratory Ecole des Ponts/EDF R&D
INRIA/ENPC CLIME project

2007

Souvent de la confusion ...

- « *Le réchauffement de la planète est une conséquence très prévisible des atteintes portées à la couche d'ozone, suscitées par une industrialisation croissante.* »

(un journal de la presse régionale française, août 2003)

Plan

- 1 Historique
- 2 Des pollutions atmosphériques
- 3 Accidents, impacts et corpus réglementaire
- 4 Un jeu multiacteurs
- 5 Rôle de l'expertise scientifique
- 6 Organisation

Quelques dates

-500	Lao Tseu décrit l'impact de l'activité humaine sur l'environnement.
300	Régulation locale à York (abattoir et brasserie).
1200	Moses Maimonides décrit la pollution atmosphérique.
1272	Édouard I ^{er} interdit l'usage du charbon à proximité du Palais royal.
1390	Richard II régule l'usage du charbon à Londres.
1648	<i>Fumifugium</i> de John Evelyn.
1692	<i>A general history of the Air</i> de Robert Boyle.
1727	Stephen Hales observe l'acidité de la rosée (<i>Vegetable Statics</i>).
1840	Christian Schönbein identifie l'ozone.
1852	Robert Angus Smith distingue diverses zones de pollution.
1872	Robert Angus Smith écrit <i>Air and Acid Rain</i> .
1905	Harold Antoine des Vœux introduit le terme de « <i>smog</i> ».
1930	Sidney Chapman propose un cycle pour l'ozone stratosphérique.
50's	Arie Jan Haagen-Smit étudie le <i>smog</i> photochimique (Los Angeles).
70's	Mécanismes de l'ozone stratosphérique (Crutzen, Rowland, Molina).
80's	Compréhension du « trou d'ozone » stratosphérique.
90's	Chimie atmosphérique, effet de serre et climat.

TAB.: Un rapide historique.

Fumifugium

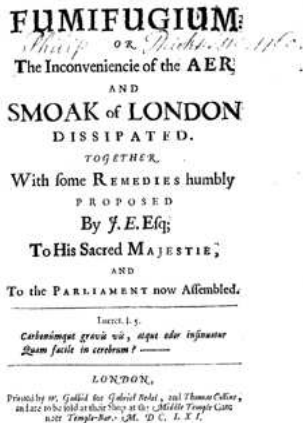


FIG.: *Fumifugium* or the Inconveniencie of the Aer and Smoak of London dissipated together with some remedies humbly proposed by J. Evelyn Esq. to His Sacred Majesty, and to the Parliament now assembled (1648).

London Smog (*pea soupers*)



FIG.: *Le Parlement, trouée de soleil dans le brouillard.* Claude Monet, 1905. Musée d'Orsay, Paris.

Robert Angus Smith

Air and Acid Rain : the Beginnings of a Chemical Climatology (1852-1872)

- « [...] we may therefore find easily three kinds of air, [...], that with carbonate of ammonia in the fields at a distance, [...], that with sulfate and ammonia in the suburbs, [...] and that with sulphuric acid, or acid sulphate, in the town ».

Big Smoke (Great London Smog)

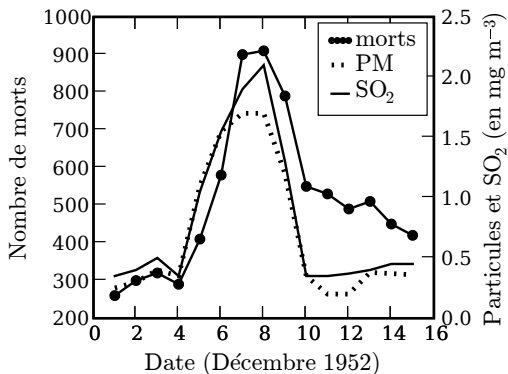


FIG.: *Great Smog* (Londres, décembre 1952) : évolution de la mortalité, de la concentration de dioxyde de soufre (SO₂) et des fumées (particules). L'unité des concentrations est le mg m⁻³ (soit un facteur cent par rapport aux concentrations modernes !).

Plan

- 1 Historique
- 2 Des pollutions atmosphériques
- 3 Accidents, impacts et corpus réglementaire
- 4 Un jeu multiacteurs
- 5 Rôle de l'expertise scientifique
- 6 Organisation

Classification

« Pollution »	Historique	Espèces	Échelle	Cadre
<i>London smog</i>	Londres 1952	SO ₂	locale	CAA (1956)
Photochimie	Los Angeles (40's)	NO _x , COV ozone	locale régionale	Directive « O ₃ » (1992)
Pluies acides Pollution transfrontière	É.-U. (60's) Europe (70's)	SO ₂ sulfates nitrates	régionale	US CAA (70's) CLRTAP (1979) Göteborg (1999)
Ozone stratosphérique	« Trou » (80's)	CFC	globale	Montréal (1987)
Effet de serre et climat	90's	CO ₂ CH ₄	globale	Kyoto (1997)

TAB.: Des pollutions atmosphériques. L'échelle « régionale » est à prendre au sens météorologique du terme (de la région française au continent).

Plan

- 1 Historique
- 2 Des pollutions atmosphériques
- 3 Accidents, impacts et corpus réglementaire**
- 4 Un jeu multiacteurs
- 5 Rôle de l'expertise scientifique
- 6 Organisation

Quelques grands accidents

1873	Londres	1000 morts (?)	<i>smog</i> soufré
1909	Glasgow	1000 morts	<i>smog</i> soufré
1930	Vallée de la Meuse (Belgique)	60 morts	<i>smog</i> soufré
1948	Donora (États-Unis)	20 morts	<i>smog</i> soufré
1952	Londres : <i>Great Smog</i>	4000 morts	<i>smog</i> soufré
1962	Londres	750 morts (?)	<i>smog</i> soufré
1966	New York (24-30 novembre)	168 morts	<i>smog</i> soufré
1984	Bhopal (Inde)	2000 morts	accident chimique
1986	Tchernobyl (URSS)	?	accident nucléaire

TAB.: Quelques « grands accidents » liés à la pollution atmosphérique.

Historique du cadre réglementaire

1853	<i>Smoke Nuisance Abatement Metropolis Act.</i>
1863	<i>Alkaly Act</i> (Grande-Bretagne).
1895	Réglementation sur les fumées d'automobiles (États-Unis).
1947	<i>Los Angeles Air Pollution Control District.</i>
1956	<i>British Clean Air Act.</i>
1963	<i>US Clean Air Act (US CAA).</i>
1965	<i>Title II US CAA (Motor Vehicle Air Pollution Control Act).</i>
1970	<i>Clean Air Act Amendments</i> et création de l'US EPA (É.-U.).
1979	Convention sur la pollution transfrontière (Genève).
1980	Directive « SO ₂ » (Union européenne).
1987	Protocole de Montréal (ozone stratosphérique).
1990	<i>Title IV US Clean Air Act</i> (pluies acides).
1992	Directive « ozone » (Union européenne).
1996	Directive « cadre » sur la qualité de l'air (Union européenne).
1996	Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (France).
1997	Protocole de Kyoto.
1999	Protocole de Göteborg (multipolluants, multimilieus).
2001	Directive « NEC » (<i>National Emissions Ceilings</i> ; U.E.).

TAB.: Un rapide historique du cadre réglementaire.

Pollution transfrontière

En Europe

- « [...] *air quality in any European country is measurably affected by emissions from other European countries ... [and] if countries find it desirable to reduce substantially the total deposition of sulphur within their borders, individual national control programmes can achieve only a limited success* » (Programme OCDE sur le transport longue distance des polluants atmosphériques, 1977).

Pollution transfrontière

1984	Financement long terme d'EMEP.
1985	Réduction des émissions de soufre de 30 %.
1988	Contrôle des émissions ou des flux transfrontières de NO _x .
1991	Contrôle des émissions ou des flux transfrontières de COV.
1994	Réduction supplémentaire des émissions de soufre.
1998	Polluants organiques persistants (POP).
1998	Métaux lourds.
1999	Acidification, eutrophisation et ozone au sol.

TAB.: Les protocoles de la CLRTAP, dont EMEP est le bras armé pour l'évaluation, la mesure et la modélisation (*Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air pollutants in Europe*).

Plafonnement des émissions (directives NEC)

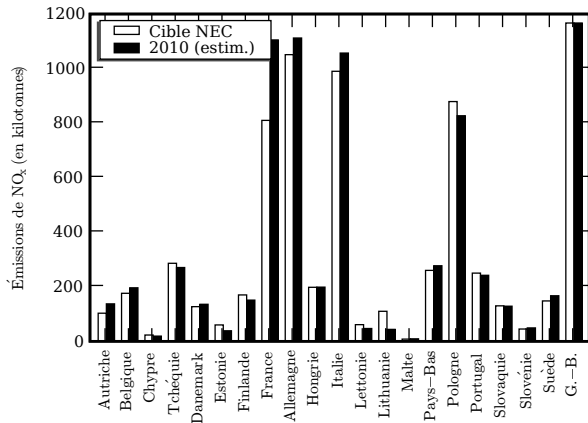


FIG.: Comparaison entre, d'une part, les plafonds d'émissions 2010 prévus pour les NO_x par la directive « NEC » et, d'autre part, les estimations (2006) des divers plans nationaux (scénario avec les mesures prévues). Source : [?] .

Plan

- 1 Historique
- 2 Des pollutions atmosphériques
- 3 Accidents, impacts et corpus réglementaire
- 4 Un jeu multiacteurs**
- 5 Rôle de l'expertise scientifique
- 6 Organisation

Pouvoirs publics (réseaux de surveillance)

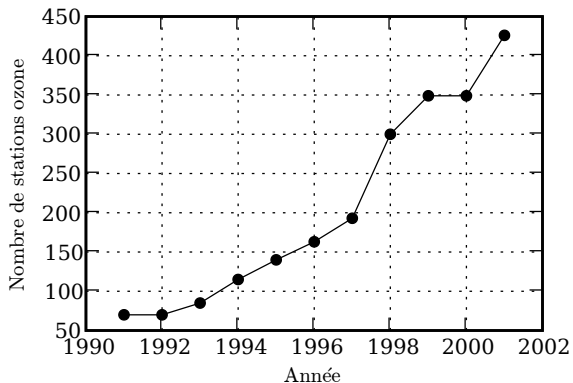


Fig.: Évolution de 1991 à 2001 du nombre de stations de mesure de l'ozone en France.
Source : ADEME (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie).

Secteurs émetteurs

Pays	Évolution (en %)	Pays	Évolution (en %)
Autriche	-90	Pays-Bas	-[85, 90]
Danemark	-90	Pologne	-[60, 65]
France	-80	Suisse	-[80, 85]
Allemagne	-90	Suède	-[85, 90]
Italie	-75	Grande-Bretagne	-90

TAB.: Évolution (en %) des émissions de SO₂ de 1980 à 2000 en Europe. Entre crochets, intervalle des valeurs estimées.

Zone	NO _x	COV	CO
Europe (UE25)	-31	-39	-45
États-Unis	-16	-16	+14

TAB.: Évolution (en %) des émissions de NO_x, COV et CO de 1990 à 2002, en Europe et aux États-Unis.

Secteur automobile

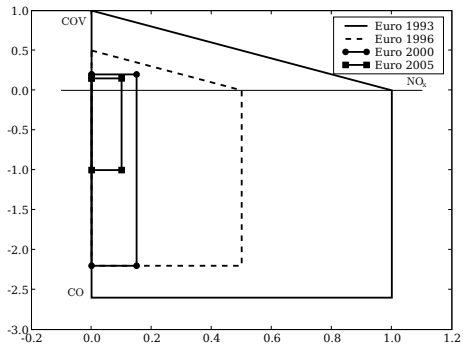


FIG.: Évolution de la réglementation pour les émissions unitaires des véhicules à essence en Europe (normes Euro 1993-2005). Les unités sont adimensionnées. Le polygone de « contraintes réglementaires » est défini par les NO_x dans le sens des abscisses positives, par les COV dans le sens des ordonnées positives, par CO dans le sens des ordonnées négatives.

Secteur automobile

	Global		Essence		Diesel	
	2003	1995-2003	2003	1995-2003	2003	1995-2003
UE-15	164	-11.8 %	171	-9.5 %	157	-12.3 %
ACEA	163	-11.9 %	171	-9.0 %	154	-12.5 %
JAMA	172	-12.2 %	170	-11.0 %	177	-25.9 %
KAMA	179	-9.1 %	171	-12.3 %	201	-35.0 %

TAB.: Valeur en 2003 (en g km^{-1}) et évolution sur la période 1995-2003 des émissions de CO_2 pour les nouveaux véhicules à essence et diesels dans l'Union européenne des Quinze (UE-15), selon l'origine des constructeurs (ACEA pour les européens, JAMA pour les japonais, KAMA pour les coréens).

Secteur automobile

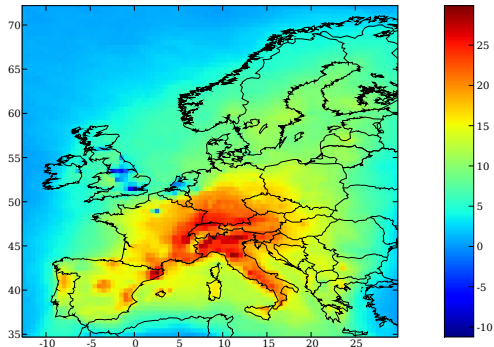


FIG.: Contribution (en %) des émissions du trafic routier aux pics d'ozone (Europe, été 2001). L'estimation est effectuée en comparant une simulation avec les émissions connues et une simulation sans les émissions du trafic routier. Elle ne tient donc pas compte des effets non linéaires de la photochimie (chapitre ??). Simulation à l'aide du système POLYPHEMUS. Crédit : Yelva Roustan, CEREAs.

Plan

- 1 Historique
- 2 Des pollutions atmosphériques
- 3 Accidents, impacts et corpus réglementaire
- 4 Un jeu multiacteurs
- 5 Rôle de l'expertise scientifique**
- 6 Organisation

Rôle décisif

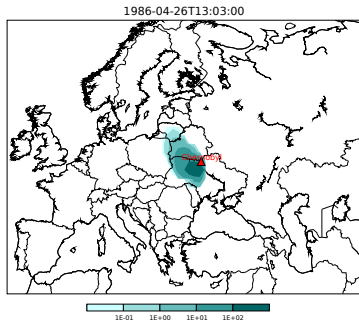
Exemples

- la *compréhension des processus* (on est ici au niveau de la recherche) ;
- la *prévision environnementale*
- les *études d'impact*
- les *études climatiques* sur la composition chimique de l'atmosphère, l'effet de serre additionnel et le changement climatique ;
- la *modélisation inverse des flux d'émission*

Exemple de la prévision

Chernobyl Accidental Release, 25 April-5 May 1986

POLYPHEMUS run, Forecast Emergency Center IRSN/CEREA



Études d'impact

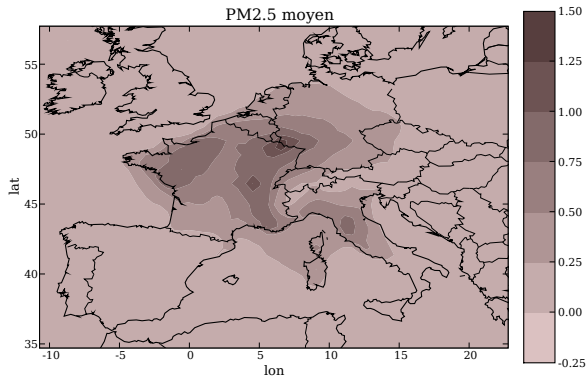


FIG.: Contribution (en %) des émissions du parc de production thermique français pour les niveaux de concentrations de PM_{2.5}. Année 2001. Simulation à l'aide du système POLYPHEMUS. Crédit : Yelva Roustan, CEREAs.

Dilemmes atmosphériques : biocarburants

Espèce	E85 <i>versus</i> Essence	Signe
COV (total)	[+34, +95] %	+
Méthane	[+43, +340] %	+
Formaldéhyde (HCHO)	[+7, +228] %	+
Acétaldéhyde (CH ₃ CHO)	[+1250, +4340] %	+
Monoxyde de carbone (CO)	[-38, +320] %	?
NO _x	[-59, +17] %	-
PM en masse	+ 31 %	+
PM en nombre	+100 %	+

TAB.: Évolution des émissions d'un véhicule lors du passage d'un carburant essence classique à un biocarburant type E85 (éthanol). *PM* désigne les particules (*particulate matter*).

Dilemmes atmosphériques : fines particules

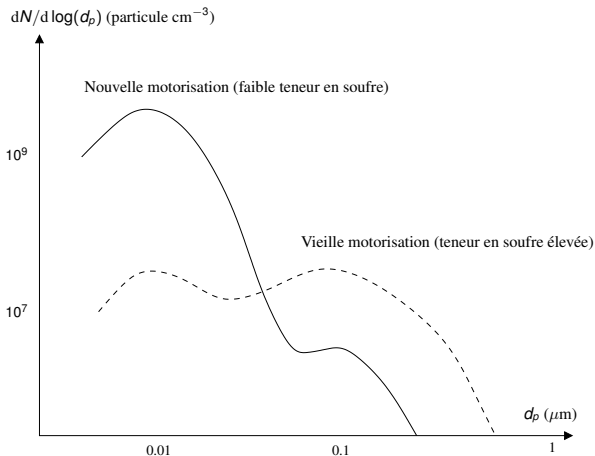


FIG. : Évolution qualitative de la distribution en taille des particules à proximité d'un tuyau d'échappement de voiture (mesures) : nouvelle motorisation (teneur en soufre faible) *versus* ancienne motorisation (teneur en soufre élevée).

Dilemmes atmosphériques : pollution *versus* effet de serre

Geo-engineering pour l'effet de serre

- « [...] *this can be achieved by burning S_2 or H_2S , carried into the stratosphere on balloons and by artillery guns to produce SO_2 [...] and this has to be viewed] as an escape route against strongly increasing temperatures ... »
(P. J. Crutzen)*

Plan

- 1 Historique
- 2 Des pollutions atmosphériques
- 3 Accidents, impacts et corpus réglementaire
- 4 Un jeu multiacteurs
- 5 Rôle de l'expertise scientifique
- 6 Organisation**

Classification

« Pollution »	Historique	Espèces	Échelle	Cadre
<i>London smog</i>	Londres 1952	SO ₂	locale	CAA (1956)
Photochimie	Los Angeles (40's)	NO _x , COV ozone	locale régionale	Directive « O ₃ » (1992)
Pluies acides Pollution transfrontière	É.-U. (60's) Europe (70's)	SO ₂ sulfates nitrates	régionale	US CAA (70's) CLRTAP (1979) Göteborg (1999)
Ozone stratosphérique	« Trou » (80's)	CFC	globale	Montréal (1987)
Effet de serre et climat	90's	CO ₂ CH ₄	globale	Kyoto (1997)

TAB.: Des pollutions atmosphériques. L'échelle « régionale » est à prendre au sens météorologique du terme (de la région française au continent).

Questions traitées

Questions traitées

- 1 Comment classer les pollutions atmosphériques ?
Quels sont les ordres de grandeur à connaître ?
Mots-clés : bases, émissions, temps de résidence.
 - 2 Quelle incidence a la composition chimique sur les bilans d'énergie ?
Quelle est la relation entre pollution atmosphérique et visibilité ?
Mots-clés : transfert radiatif, effet de serre.
 - 3 Quel impact ont les conditions météorologiques sur la pollution ?
Quelles sont les spécificités urbaines ?
Mots-clés : couche limite atmosphérique.
 - 4 Quels sont les grands cycles de la chimie atmosphérique ?
Comment se forme un épisode de pollution photochimique ?
Quelle est l'efficacité des mesures de réduction des émissions ?
Mots-clés : chimie atmosphérique.
 - 5 Quel rôle jouent les particules atmosphériques (aérosols) ?
Comment évoluent-elles ? Qu'est-ce qu'une pluie acide ?
Mots-clés : microphysique, dynamique des aérosols.
 - 6 De quels outils de modélisation dispose-t-on à présent ?
Quelles sont leurs utilisations et leurs limites ?
Mots-clés : modèles de chimie-transport, simulation numérique.
-

TAB.: Questions posées, disciplines scientifiques et mots-clés par chapitre.