

ACADEMIE D'AGRICULTURE

Paris, 13 JUIN 2007

Le soufre dans l'atmosphère
Emissions, quantification, évolutions, réglementation

Jean-Pierre FONTELLE & Guillaume JACQUIER

Présenté par Nadine ALLEMAND



Centre Interprofessionnel Technique
d'Etudes de la Pollution Atmosphérique

7 cité Paradis, 75010 PARIS – www.citepa.org



Le soufre dans l'atmosphère

Plan

- @ caractéristiques générales
- @ émissions
- @ quantification des émissions
- @ réglementation

Le soufre dans l'atmosphère

Caractéristiques générales

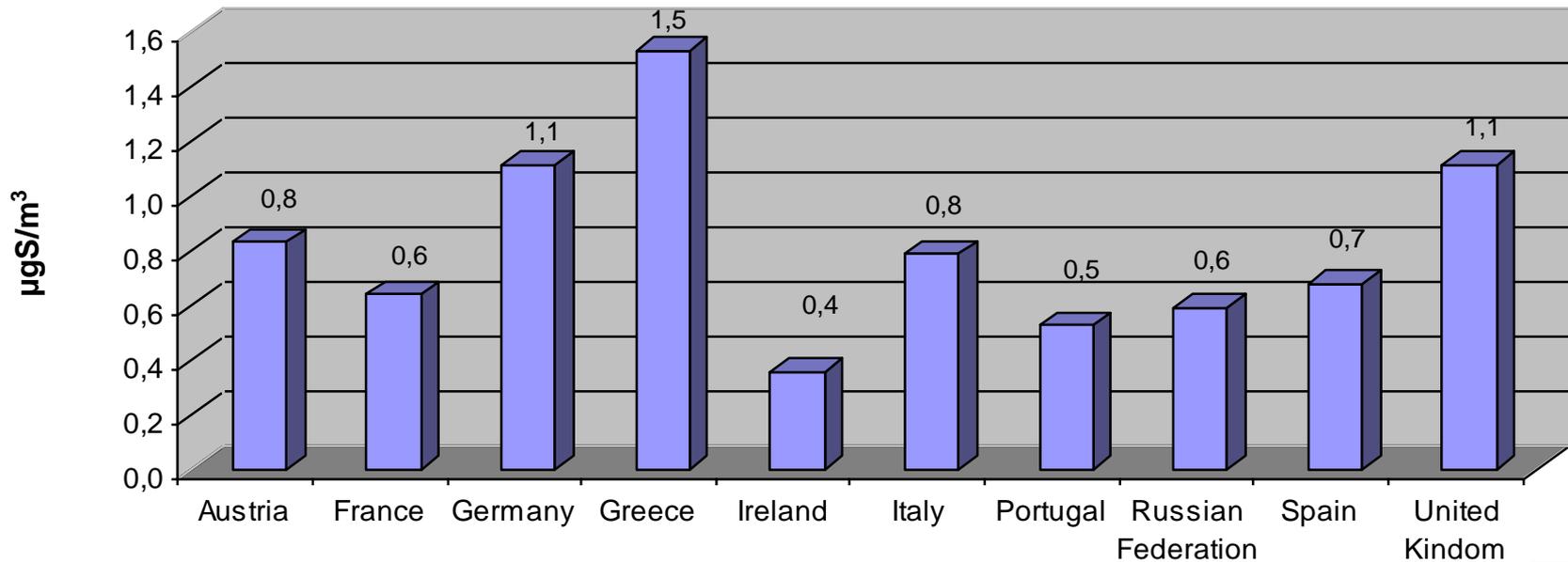


- ⑩ 10^{ème} élément naturel par son abondance, le soufre est présent sous forme sédimentaire et volcanique
- ⑩ la fraction sédimentaire est rencontrée en particulier dans le calcaire, le gypse, les hydrocarbures
- ⑩ le soufre présent dans l'atmosphère a des origines naturelles (éruptions volcaniques, aérosols marins) et anthropiques notamment du fait de l'utilisation de combustibles fossiles et de biomasse ainsi que de réactions chimiques dans certains procédés (chimie, métallurgie, raffinage, etc.)
- ⑩ les concentrations observées dans l'atmosphère ont été fortement réduites : 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1990 -> 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2005 en zone urbaine en moyenne annuelle
- ⑩ ponctuellement les concentrations peuvent encore atteindre des seuils élevés nuisibles à la santé : 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne journalière en zone fortement industrielle et 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une heure

Le soufre dans l'atmosphère

Caractéristiques générales

Concentrations moyennes de SO₂ dans l'atmosphère en 2004



Le soufre dans l'atmosphère

Caractéristiques générales



- Ⓢ le SO_2 a un impact sur la santé en tant qu'irritant respiratoire en synergie avec les particules
- Ⓢ dans l'atmosphère, le SO_2 se transforme en H_2SO_4 et contribue à l'acidification des écosystèmes via les pluies acides
- Ⓢ le soufre est aussi un nutriment pour les plantes et les retombées atmosphériques y contribuaient.
- Ⓢ la diminution des concentrations de S dans l'atmosphère conduit à devoir parfois en apporter via des amendements non sans soulever des difficultés opératoires pour que ces apports soient bien dosés et ne contribuent pas à la pollution de l'eau
- Ⓢ les aérosols sulfuriques tels que ceux provenant du volcanisme (cf. éruption du Pinatubo, 1991) font écran au rayonnement solaire et engendrent un refroidissement de l'atmosphère (0,5 K pendant 2 ans dans le cas du Pinatubo)

Le soufre dans l'atmosphère

Caractéristiques générales



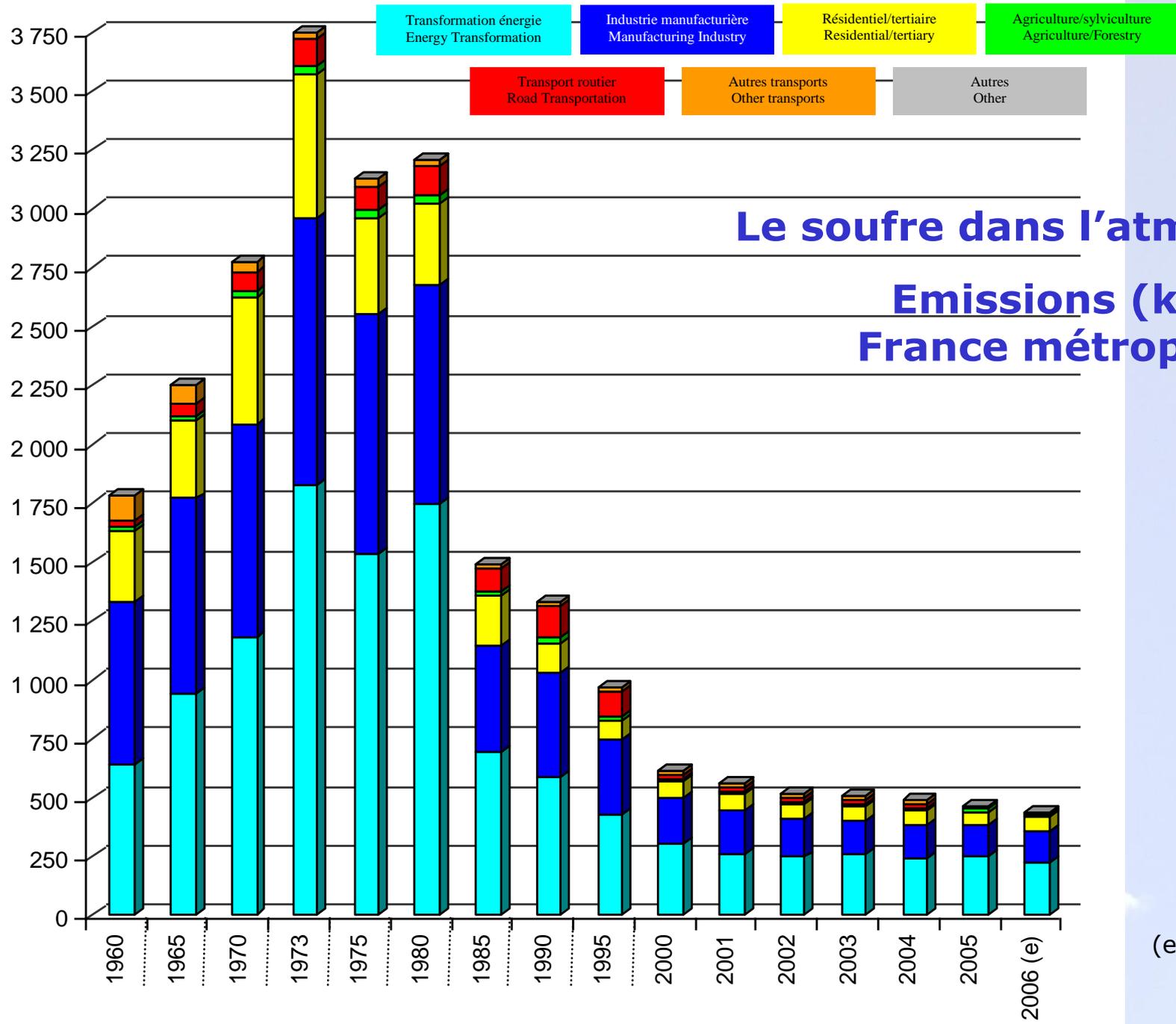
⑩ les émissions de SO_2 concourent donc à lutter contre le changement climatique. Paradoxalement, la diminution de la consommation d'énergie fossile pour réduire les émissions de CO_2 tend également à diminuer l'effet parapluie du SO_2 .

Le soufre dans l'atmosphère

Emissions



- ⊙ une très large majorité (85%) des émissions anthropiques de la France sont issues de l'utilisation de combustibles fossiles
- ⊙ en 2005,
 - plus de la moitié (54%) est attribuée aux industries de l'énergie (production, d'électricité, raffinage du pétrole, cokéfaction, chauffage urbain, etc.),
 - un bon quart (28%) provient de l'industrie manufacturière,
 - un sixième (18%) est émis par le résidentiel / tertiaire,
 - le solde est réparti entre l'agriculture (3%), le transport routier (1%) et les autres transports (2%)
- ⊙ l'évolution des émissions au cours depuis 1960 connaît différentes périodes et traduit l'historique de l'économie française : avant le 1^{er} choc pétrolier, l'avant nucléaire, la montée en puissance du nucléaire, la montée en puissance de la contrainte environnementale au cours des 10 dernières années

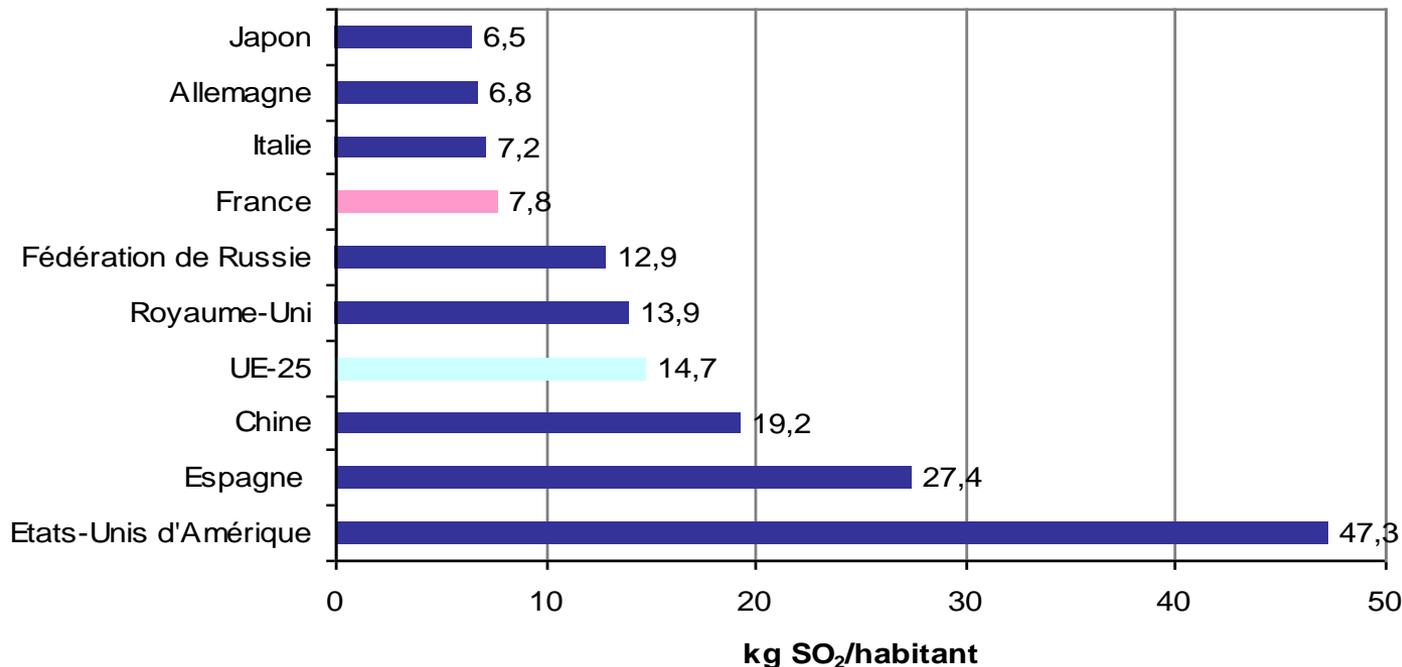


(e) estimation

Le soufre dans l'atmosphère

Emissions

- Ⓢ Le niveau actuel des émissions ~450 kt est le plus faible observé depuis plus d'un demi-siècle
- Ⓢ relativement au maximum de 1973, la réduction est proche de 90%,
- Ⓢ rapportée au nombre d'habitants, l'émission par français est 6 fois plus faible que celle de l'américain et malgré le nucléaire, 15% supérieure à l'allemand



Le soufre dans l'atmosphère

Quantification des émissions

④ la mesure

$$m_{SO_2} = \int C_{SO_2} \times Q_v \times dt$$

avec : m_{SO_2} : masse de SO_2 émise

C_{SO_2} : concentration des effluents rejetés en SO_2

Q_v : débit volumique d'effluents rejetés à l'atmosphère

Facteurs limitants : existence d'équipements, représentativité de la section de mesure, coût

Le soufre dans l'atmosphère

Quantification des émissions

④ le bilan

$$m_{SO_2} = m_c \times S_c \times \frac{M_{SO_2}}{M_S} \times (1 - c_{eff}) \times (1 - c_{ret})$$

- avec
- m_{SO_2} : masse de SO_2 émise
 - m_c : masse de combustible utilisé
 - S_c : teneur en soufre du combustible
 - M_{SO_2} : masse molaire du SO_2 (64,06 g/mol)
 - M_S : masse molaire du soufre (32,07 g/mol)
 - c_{eff} : coefficient d'efficacité des systèmes de dépollution éventuels
 - c_{ret} : coefficient de rétention du soufre du combustible dans les phases non gazeuses

Facteurs limitants : applicable qu'à quelques substances (S, C, Cl) et pas en présence d'équipements de dépollution (de- SO_x), coût dans les cas très complexes avec nombreuses mesures de flux

Le soufre dans l'atmosphère

Quantification des émissions

④ le facteur d'émission

$$m_{SO_2} = A_{a,t} \times F_{SO_2,a}$$

avec : m_{SO_2} : masse de SO_2 émise, relative à l'activité a, pendant le temps t

$A_{a,t}$: quantité d'activité relative à l'activité a, pendant le temps t

$F_{SO_2,a}$: facteur d'émission du SO_2 relatif à l'activité a

Facteurs limitants : représentativité surtout dans des cas peu classiques

Le soufre dans l'atmosphère

Quantification des émissions



④ la corrélation

Une fonction est établie entre paramètres du procédé et les émissions de SO_2

Cette relation doit être établie de manière fiable et assez précise pour des conditions opératoires déterminées

Le facteur d'émission est une forme de corrélation très simplifiée de même que le bilan dans une certaine mesure

Facteurs limitants : coût initial, applicabilité si trop grande variabilité des conditions opératoires, existence d'une corrélation

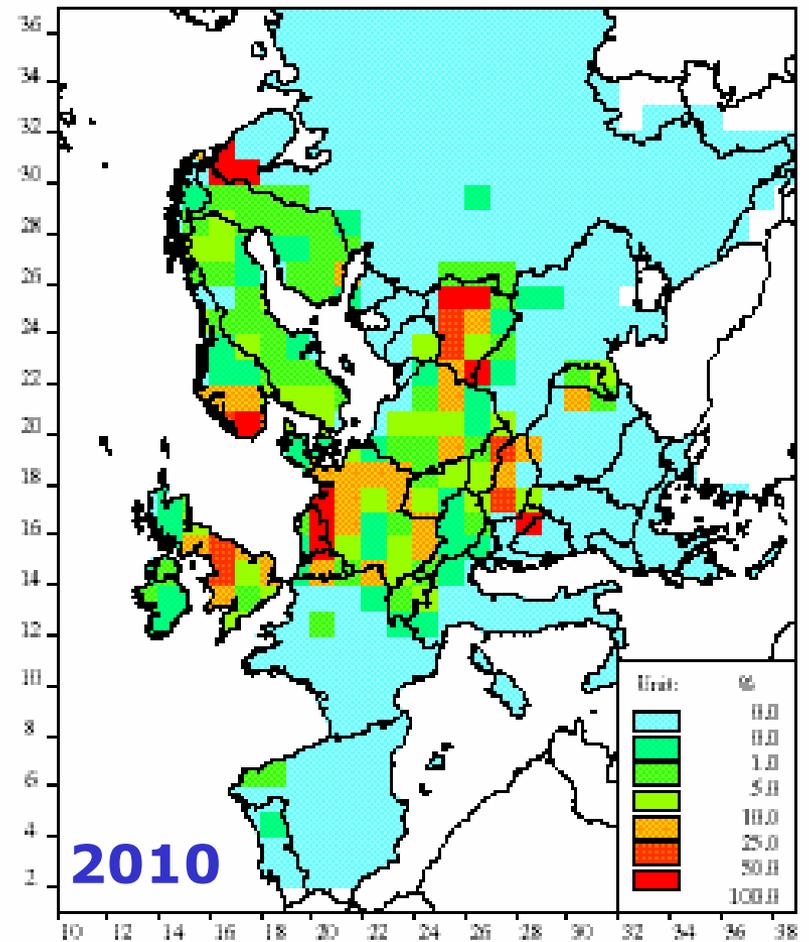
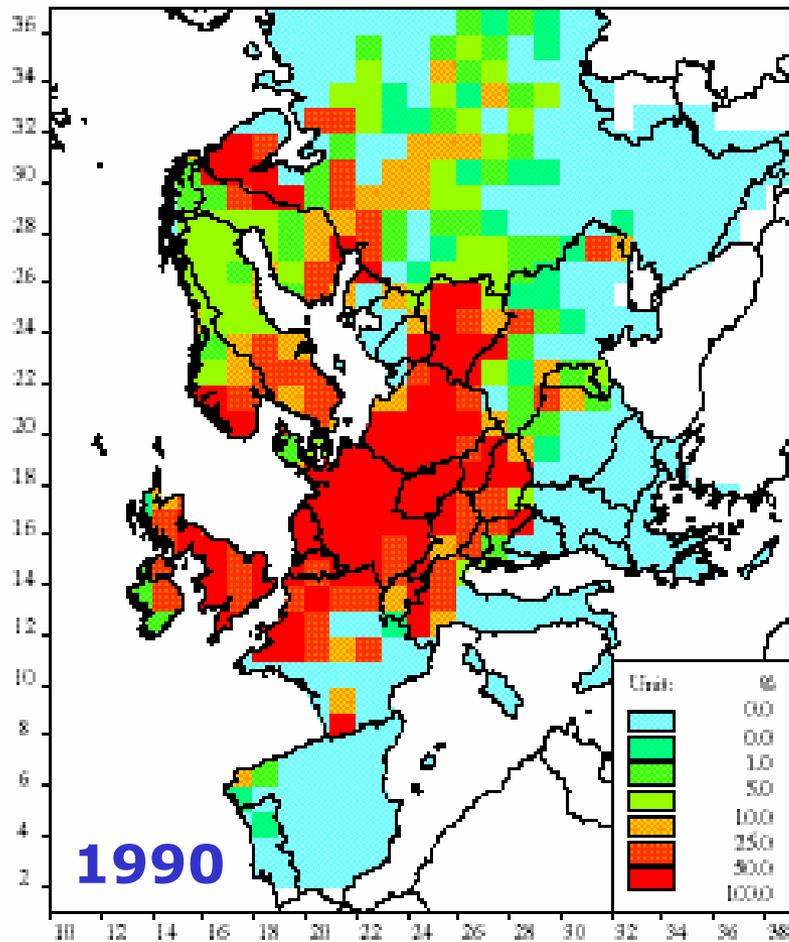
Le soufre dans l'atmosphère

Réglementation

© la politique de réduction des émissions de SO₂ en Europe est basée sur le principe de précaution / limitation des quantités reçues par les écosystèmes sur la base de leur sensibilité (charge critique) donc des différentes régions

Le soufre dans l'atmosphère

Réglementation



% de la surface des écosystèmes avec des excès de dépôts acidifiants

Le soufre dans l'atmosphère

Réglementation



④ les conventions et protocoles internationaux

Convention de Genève (1979) et ses protocoles (le plus récent Göteborg 1999 en cours de révision) : objectif de la France 400 kt SO₂ en 2010

Directive plafonds d'émission nationaux [NEC](2001) en cours de révision : objectif de la France 375 kt SO₂ en 2010

Autres directives sectorielles :

- **IPPC** (application des meilleures technologies disponibles)
- **GIC** (programme de réduction des émissions des GIC)
- Incinération des déchets (concerne marginalement le SO₂)
- **Teneur en Soufre de certains combustibles** (sources fixes, mobiles)

La plupart de ces conventions et directives exige la fourniture d'inventaires d'émissions dont le SO₂ (réalisé par le CITEPA)

Le soufre dans l'atmosphère

Réglementation



© au plan national

Code de l'Environnement (2000), réglementation sur les installations classées

La réglementation sur les émissions est basée sur :

- un texte de portée générale contenant des dispositions applicables à tous les secteurs avec des cas particuliers (arrêté du 2 février 1998 modifié) sauf pour les secteurs spécifiés ci-après
- des textes sectoriels (arrêtés) en complément de l'arrêté du 2 février 1998 (i.e. installations de combustion, raffinage, ciment, verre, incinération des déchets, etc.)

La réglementation fixe notamment des Valeurs Limites d'Emission (VLE), des modalités de surveillance et de reporting des émissions

- Teneur en Soufre de certains combustibles (sources fixes, mobiles)

Le soufre dans l'atmosphère

Réglementation



Ⓢ au plan national

➤ D'autres textes relatifs à la teneur en Soufre de certains combustibles (sources fixes, mobiles) viennent en déclinaison de la réglementation européenne

Ⓢ au plan national / local

➤ les PRQA et les PPA permettent de développer des plans d'actions visant à garantir des niveaux de qualité de l'air garantissant entre autres objectifs la santé des personnes. Des dispositions relatives à la limitation des émissions peuvent apparaître dans ces plans.

➤ les arrêtés individuels d'autorisation (ICPE) contiennent toutes les dispositions que doivent respecter les industriels comme évoqués précédemment (VLE, surveillance, déclaration des rejets, etc.)