

# SO<sub>2</sub> – Dioxyde de soufre



Polluants

Fiche détaillée

Niveau ★★☆

(A partir de la 2nd)

# I. Introduction

Le dioxyde de soufre (ou anhydride sulfureux) est un composé chimique constitué de deux atomes d'oxygène et d'un atome de soufre, soit de formule chimique  $\text{SO}_2$  (cf figure 1).

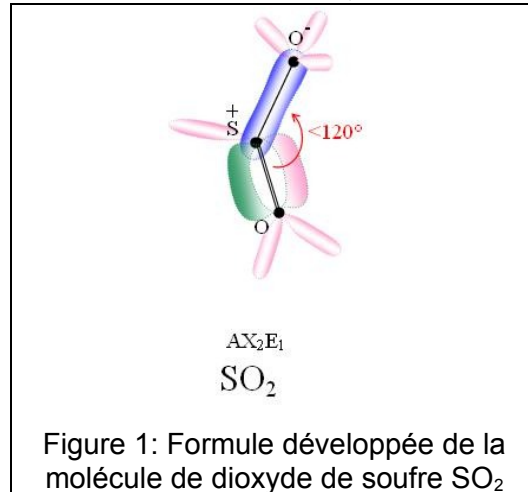


Figure 1: Formule développée de la molécule de dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$






C'est un gaz dense, incolore, toxique, ininflammable, avec une odeur pénétrante (seuil bas à bas à 0,33 ppm et seuil haut à 5 ppm) et fortement irritante pour les yeux et les voies respiratoires. Le  $\text{SO}_2$  atmosphérique provient essentiellement de combustions de combustibles fossiles au cours desquelles les impuretés soufrées contenues dans les combustibles (à des taux compris entre 0,2% et 4%) sont oxydées par l'oxygène de l'air  $\text{O}_2$  en dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$ . Ce polluant gazeux est ainsi rejeté par de multiples petites sources mobiles ou fixes (installations de chauffage domestique, véhicules à moteur diesel, ...), et par des sources ponctuelles plus importantes (centrales de production électrique ou de vapeur, chaufferies urbaines, ...). Certains procédés industriels produisent également des effluents soufrés (production d'acide sulfurique, raffinage de pétrole, métallurgie des métaux non ferreux, incinération des déchets, fabrication de la pâte à papier...). Par ailleurs, le  $\text{SO}_2$  a de nombreuses applications industrielles comme désinfectant, antiseptique, gaz réfrigérant ou agent de blanchiment. En raison de ses propriétés antimicrobiennes, il est aussi utilisé comme conservateur de produits alimentaires (dont le vin) sous l'appellation E220. Le  $\text{SO}_2$  industriel est obtenu par combustion de soufre ou de pyrites, puis transformé en trioxyde de soufre ( $\text{SO}_3$ ) pur par oxydation catalytique dans l'air. Le  $\text{SO}_3$  ainsi obtenu permet la fabrication directe d'acide sulfurique très concentré par simple hydratation. Les rejets industriels de dioxyde de soufre peuvent être réduits grâce à la mise en place de procédés de désulfuration (pré ou post-combustion). La combustion du charbon est la source anthropique la plus importante, suivie des émissions liées au pétrole. La principale source de  $\text{SO}_2$  naturelle est liée aux explosions volcaniques (cf figure 2: éruption Piton de la fournaise, La Réunion). Des concentrations pouvant aller jusqu'à plusieurs milliers de  $\mu\text{g m}^{-3}$  peuvent être enregistrées à proximité des cratères lors de ces éruptions.



Figure 2: irruption du Piton de la Fournaise, La Réunion, s'accompagnant de concentrations mesurées en  $\text{SO}_2$  supérieures à  $3000 \mu\text{g m}^{-3}$

## II. Effets

Chez les humains, l'exposition à une concentration élevée de  $\text{SO}_2$  peut induire des troubles respiratoires, des maladies des voies respiratoires, et une aggravation des maladies pulmonaires et cardio-vasculaires. Le  $\text{SO}_2$  est un irritant des muqueuses, de la peau et des voies respiratoires. Inhalé à des niveaux de concentration de quelques centaines de microgrammes par mètre cube d'air, il est absorbé à 85-99 % par les muqueuses du nez et du tractus respiratoire supérieur du fait de sa grande solubilité. Une faible fraction peut néanmoins se fixer sur des particules fines et atteindre ainsi les voies respiratoires inférieures. Les personnes qui souffrent d'asthme ou de maladies cardiaques ou pulmonaires chroniques sont nécessairement plus vulnérables à ces effets.

Catégorie	Dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ )
 Très bon	Aucun effet sur la santé n'est attendu chez les personnes en bonne santé.
 Bon	Domages à certaines plantes, si combiné à l'ozone
 Moyen	Domages à certaines plantes.
 Mauvais	Odeur; domages à bon nombre de plantes.
 Très mauvais	Sensibilité accrue chez les asthmatiques et les personnes

## souffrant de bronchite.

Tableau 1: effets du SO<sub>2</sub> en fonction de la qualité de l'air, définie de très bonne (indice ATMO de 1 à 3) à très mauvaise (indice ATMO de 8 à 10)

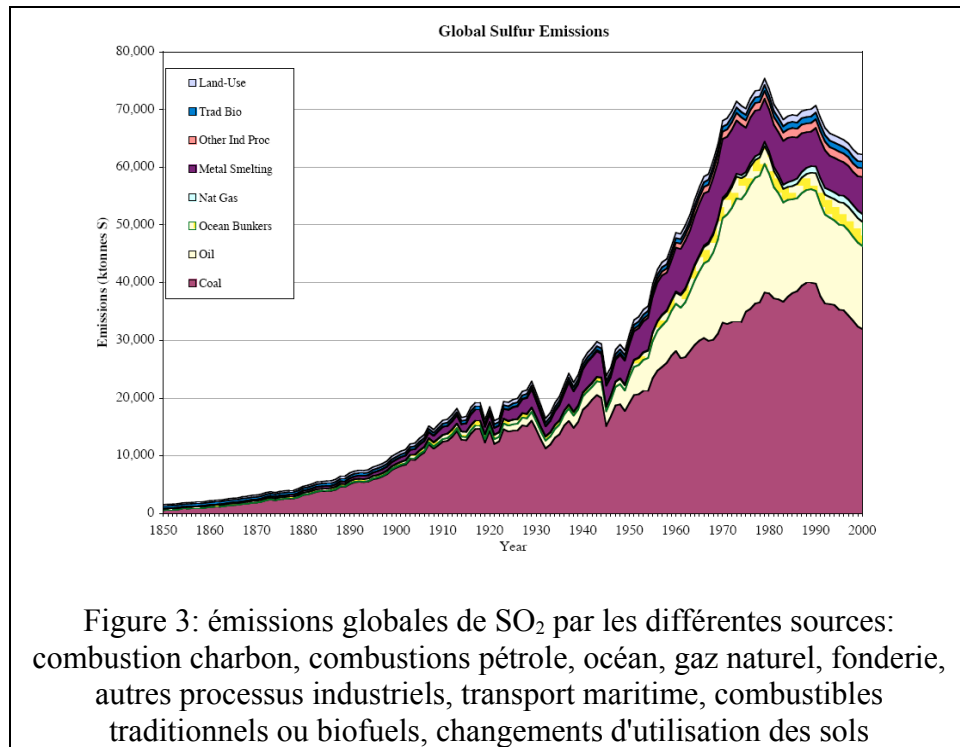
Le SO<sub>2</sub> peut se conjuguer avec l'eau atmosphérique et former un brouillard et des aérosols d'acide sulfurique. Le dioxyde de soufre est le précurseur des sulfates, principale composante des particules en suspension dans l'atmosphère, responsables des problèmes respiratoires évoquées précédemment. Le SO<sub>2</sub>, via la production d'acide sulfurique, généralement en présence d'un catalyseur comme le NO<sub>2</sub>, est une des principales composantes de l'acidité anthropique des pluies. A cette acidité est associée des phénomènes de perturbations des écosystèmes, de corrosion des parties métalliques des bâtiments, d'acidification des lacs et des cours d'eau, et une visibilité amoindrie.

Outre leur effet direct sur les végétaux, le SO<sub>2</sub> peut changer les caractéristiques des sols, notamment des sols acides (granite, schistes acides, grès). L'acide sulfurique généré à partir du SO<sub>2</sub> apporte sa contribution aux processus de dégradation des matériaux. Cet acide, formé en présence d'eau, réagit avec le calcium contenu dans les particules et donne naissance à des cristaux de gypse (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) qui jouent un rôle important dans la dégradation des monuments tant par leur action mécanique que chimique. Le gypse en cristallisant à l'intérieur des pores des matériaux exerce une pression très importante sur la pierre et la fait éclater. Par ailleurs, il cimente les microparticules et contribue à la formation des croûtes noires.

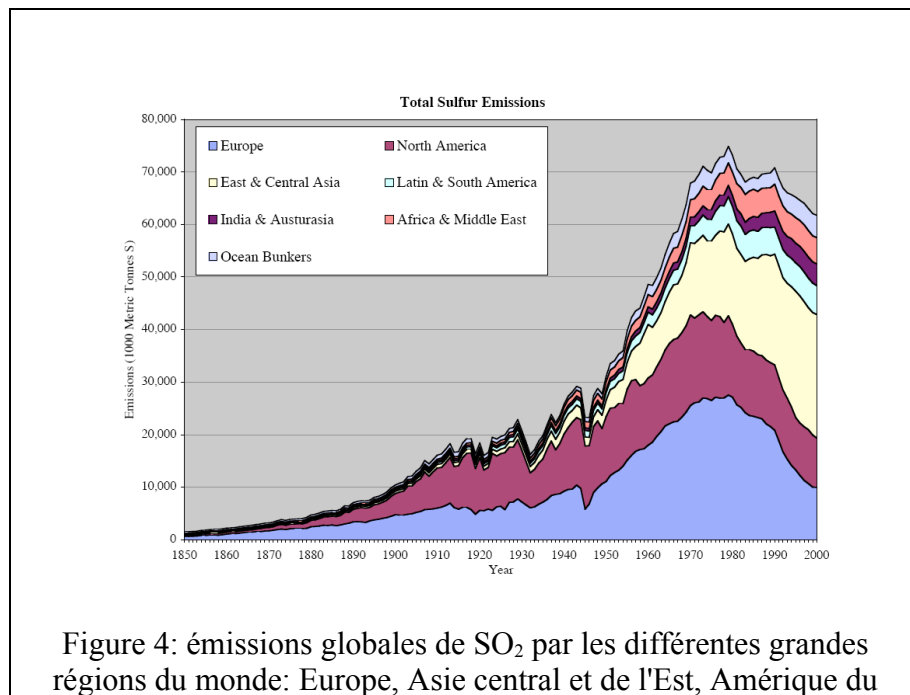
Les pluies acides étant une pollution à grande échelle, la convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue portée signée en 1988 s'est attaché à diminuer les émissions des précurseurs de ce type de pollution (SO<sub>2</sub> donc, mais aussi NO<sub>x</sub>). Les normes appliquées en Europe ont permis une forte diminution de la pollution acide de l'air depuis les années 1980. Mais alors que les émissions terrestres diminuaient fortement, les émissions du transport maritime ont fortement augmentées dans le même temps, et pourraient représenter la première source de ce composé à l'échéance 2015. Enfin, le dioxyde de soufre peut jouer un rôle refroidissant pour la planète, car il sert de noyau de nucléation à des aérosols dont l'albedo\* est élevé (aérosols diffusants). Ces aérosols réfléchissent donc une forte proportion des rayons du soleil (peu sont absorbés).

## III. Emissions

Les émissions globales ont cru fortement tout au long des trente glorieuses (années 50 à 70) pour atteindre leur maximum aux alentours de 70 TgS an<sup>-1</sup> vers la fin des années 70, avant de décroître graduellement depuis (cf. figure 3).



Les émissions par le charbon et le pétrole représentent encore respectivement environ la moitié et le quart des émissions totales de SO<sub>2</sub>. La somme des autres sources (changement d'utilisation des sols ou déforestation, métallurgie non ferreuse, autres processus industriels, transport maritime, ...) restent autour de 25%, seul le transport maritime augmentant proportionnellement plus vite ces trente dernières années. Depuis le milieu des années 70, une proportion plus importante des émissions provient de l'Asie, les émissions des autres régions (Asie du Sud-est, Afrique, Amérique du sud et centrale,) augmentant aussi, mais dans une proportion moindre (cf. figure ci-dessous). Les émissions aux Etats-Unis sont baissées de 33% entre 1993 et 2002, les émissions européennes baissant dans une proportion comparable.



Nord, Amérique du Sud et Centrale, Afrique et Moyen-Orient, et  
pour le transport maritime

En 2006, la Chine est devenu le plus gros émetteur de SO<sub>2</sub>, avec des émissions estimées à 25.49 TgS pour l'année 2005, soit des émissions comparables à celles des Etats-Unis en 1980. L'augmentation des émissions pour ce pays a été de 27% depuis 2000.

## IV. Surveillance du SO<sub>2</sub> atmosphérique dans les réseaux d'associations de qualité de l'air

La méthode européenne de référence utilisée pour la mesure du dioxyde de soufre est la fluorescence ultraviolette. Elle repose sur la mesure d'un rayonnement de fluorescence émis par les molécules de dioxyde de soufre soumises à un rayonnement ultraviolet émis par une lampe basse pression à vapeur de zinc. La fluorescence mesurée par un photomultiplicateur est directement proportionnelle à la concentration en dioxyde de soufre de l'échantillon. Les normes concernant les seuils d'information, d'alerte, les valeurs limite et les objectifs de qualité sont données dans le tableau 2 ci-dessous. La baisse des émissions de soufre fait que les niveaux habituellement rencontrés dans l'atmosphère respectent ces différents niveaux, avec un plancher de l'ordre de 5 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle pour l'ensemble des agglomérations françaises.

La baisse des émissions et des concentrations atmosphériques de SO<sub>2</sub> s'expliquent notamment par l'amélioration des combustibles et carburants, la désulfuration des fumées des grandes installations de combustion (et la réduction du taux de marche des centrales thermiques d'EDF), le traitement des fumées des usines d'incinération d'ordures ménagères. Ponctuellement, certaines zones très industrialisées (Le Havre, Fos-Berre...) peuvent encore être soumises à des pointes de pollution par le SO<sub>2</sub> supérieures aux préconisations des objectifs de qualité (50 µg m<sup>-3</sup> en moyenne annuelle).

Décret 2002-213 du 15 février 2002 Dioxyde de soufre - SO <sub>2</sub>	
Seuil d'information et de recommandations	<b>300 µg/m<sup>3</sup></b> pour la valeur moyenne sur <b>1 heure</b>
Seuil d'alerte	<b>500 µg/m<sup>3</sup></b> pour la valeur horaire sur <b>3 heures consécutives</b>
Valeurs limites	<b>99,7 %</b> des moyennes <b>horaires</b> doivent être inférieures à <b>350 µg/m<sup>3</sup></b>
	<b>99,2 %</b> des moyennes <b>journalières</b> doivent être inférieures à <b>125 µg/m<sup>3</sup></b> (3 jours de dépassement)
	<b>20 µg/m<sup>3</sup></b> pour la moyenne <b>annuelle (protection des</b>

	<b>écosystèmes)</b>
	<b>20 µg/m<sup>3</sup> pour la moyenne hivernale (1er octobre au 31 mars) (protection des écosystèmes)</b>
<b>Objectif de qualité</b>	<b>50 µg/m<sup>3</sup> pour la moyenne annuelle</b>

Tableau 2: normes concernant les seuils d'information, d'alerte, les valeurs limite et les objectifs de qualité pour le SO<sub>2</sub>

A titre d'information, les tableaux suivants présentent des valeurs de recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHHPF) et de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS):

Recommandations du CSHHPF Dioxyde de Soufre - SO <sub>2</sub>		
<b>Objectif de qualité</b>	50 µg/m <sup>3</sup>	moyenne annuelle
<b>Valeur limite</b>	125 µg/m <sup>3</sup>	moyenne journalière
<b>Seuil d'information</b>	250 µg/m <sup>3</sup>	moyenne horaire
<b>Seuil d'alerte</b>	350 µg/m <sup>3</sup> (sur 3 heures consécutives)	Moyenne horaire
Recommandations de l'OMS Dioxyde de Soufre - SO <sub>2</sub>		
<b>Objectif de qualité</b>	50 µg/m <sup>3</sup>	moyenne annuelle
<b>Valeur limite</b>	125 µg/m <sup>3</sup>	moyenne journalière
<b>Seuil d'information</b>	350 µg/m <sup>3</sup>	moyenne horaire
<b>Seuil d'alerte</b>	500 µg/m <sup>3</sup>	moyenne quart-horaire

Tableau 3: valeurs de recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHHPF) et de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Le SO<sub>2</sub> est un des quatre polluants réglementés (NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> et SO<sub>2</sub>) par la LAURE\* et dont la surveillance est effectuée par les réseaux de qualité de l'air. La concentration en SO<sub>2</sub> permet de calculer un sous-indice qui, couplé avec le calcul des sous-indices des trois autres polluants permet de calculer l'indice ATMO complet qui varie de 1 (qualité de l'air très bonne) à 10 (qualité de l'air très mauvaise), cf figure 6 et tableau 3 de détail des calculs ci-dessous

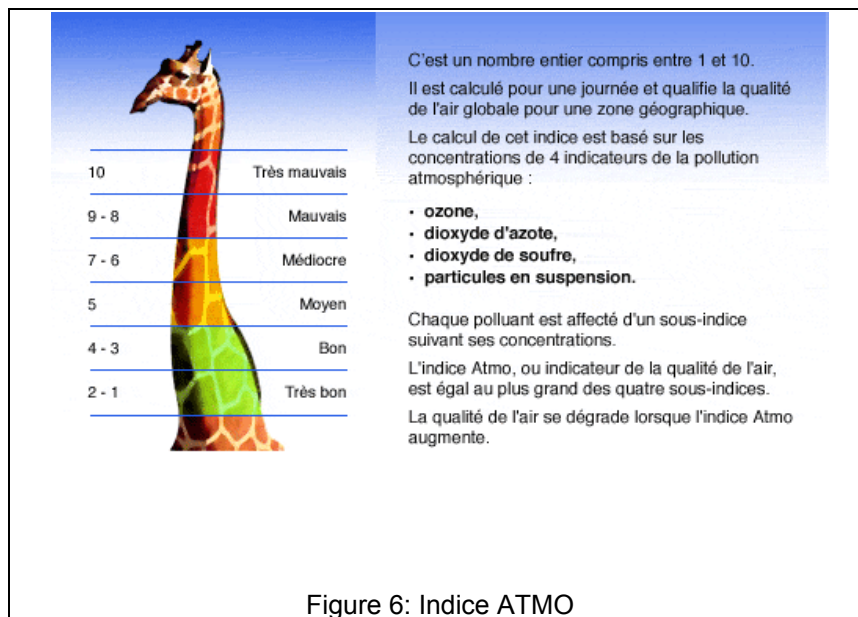


Figure 6: Indice ATMO

Echelles Indices	Dioxyde de soufre SO <sub>2</sub>	Dioxyde d'azote NO <sub>2</sub>	Ozone O <sub>3</sub>	Particules fines PM <sub>10</sub>
	Moyenne horaire en µg/m <sup>3</sup>			Moyenne journalière en µg/m <sup>3</sup>
<b>1</b>	0 à 39	0 à 29	0 à 29	0 à 9
<b>2</b>	40 à 79	30 à 54	30 à 54	10 à 19
<b>3</b>	80 à 119	55 à 84	55 à 79	20 à 29
<b>4</b>	120 à 159	85 à 109	80 à 104	30 à 39
<b>5</b>	160 à 199	110 à 134	105 à 129	40 à 49
<b>6</b>	200 à 249	135 à 164	130 à 149	50 à 64
<b>7</b>	250 à 299	165 à 199	150 à 179	65 à 79
<b>8</b>	300 à 399	200 à 274	180 à 209	80 à 99
<b>9</b>	400 à 499	275 à 399	210 à 239	100 à 124
<b>10</b>	> à 500	> à 400	> à 240	> à 125

Tableau 3: Valeurs des concentrations horaires (ou journalières) des quatre polluants SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et PM<sub>10</sub> utilisées pour le calcul des sous-indices de l'indice ATMO

Référence: Historical Sulfur Dioxide Emissions 1850-2000: Methods and Results, S.J. Smith, E. Conception, R. Andres J. Lurz, Department of Space Studies, University of North Dakota, January 2004



## V. Glossaire:

Albedo: c'est une grandeur sans dimension associée à une surface, et qui se calcule comme le rapport de l'énergie solaire réfléchie sur l'énergie solaire incidente. Ainsi, une surface qui ne réfléchit aucun rayonnement et qui est donc noire a un albedo nul, un miroir parfait qui réfléchit tout le rayonnement qu'il reçoit et n'en absorbe rien a un albedo de 1

LAURE: Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie: elle a été adoptée en France en 1996 afin de renforcer les moyens réglementaires destinés à prévenir la pollution de l'air, notamment celle liée à l'automobile. La LAURE comprend diverses dispositions visant notamment la surveillance de la qualité de l'air et la mise en œuvre ou la modernisation des divers outils de planification suivants : Plans Régionaux de Qualité de l'Air (PRQA), Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA), et Plans de Déplacement Urbains (PDU). Les Plans régionaux de qualité de l'air (PRQA) visent à fixer des orientations permettant de prévenir ou réduire la pollution atmosphérique, ou d'en atténuer les effets. Ils peuvent donc comporter des objectifs de qualité de l'air spécifiques à certaines zones si leur protection le justifie. Ils s'appuient notamment sur un inventaire des émissions au niveau régional, et sur une évaluation de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé publique et sur l'environnement. Les plans de protection de l'atmosphère (PPA) concernent les agglomérations de plus de 250 000 habitants. Leur objet est de fixer des orientations et des mesures en vue de ramener, dans un délai fixé, la concentration des polluants dans l'atmosphère à un niveau inférieur à des valeurs limites fixées dans le cadre de la loi sur l'air. Les plans de déplacements urbains (PDU) sont obligatoires dans toutes les villes de plus de 100 000 habitants. Ils s'élaborent sous l'autorité des collectivités locales et, suite à la LAURE, ils doivent notamment s'attacher à la diminution du trafic automobile et au développement des transports collectifs en vue d'améliorer la qualité de l'air.