

**CAHIER DE  
L'ENVIRONNEMENT  
N° 257**

**Air**

**Emissions  
polluantes dues  
aux sources  
naturelles  
en Suisse**

**Téléchargement du fichier PD**

[www.environnement-suisse.ch/publications](http://www.environnement-suisse.ch/publications)

Référence: SRU-257-F

© OFEFP 1996

**Tables des matières**

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>7</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>9</b>
<b>2 Calcul des émissions naturelles</b>	<b>13</b>
2.1 Forêts et herbages naturels	14
2.2 Eaux et zones humides	16
2.3 Animaux sauvages	17
2.4 Incendies de forêt	19
2.5 Foudre	19
<b>3 Récapitulation des émissions naturelles</b>	<b>20</b>
<b>4 Comparaison avec les émissions anthropiques</b>	<b>22</b>
<b>5 Conclusions</b>	<b>25</b>
<b>Abréviations</b>	<b>27</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>29</b>

## Abstracts

Der Bericht quantifiziert die Emissionen von luftverunreinigenden Stoffen aus natürlichen Quellen in der Schweiz und vergleicht diese mit den vom Menschen verursachten Emissionen. Die natürlichen Emissionen von Schwefeldioxid, Stickoxiden, Kohlenmonoxid und Ammoniak betragen weniger als 2 % der gesamten jährlichen Emissionen. Beim Lachgas tragen die natürlichen Emissionen 7 %, beim Methan 15 % zu den Gesamtemissionen bei.

Die natürlichen Emissionen fallen einzig bei den flüchtigen organischen Verbindungen stärker ins Gewicht. Hier beträgt der Anteil an den Gesamtemissionen 25 %. Diese Emissionen stammen vor allem aus dem Nadelwald. Der Einfluss der natürlichen Quellen auf die Bildung von bodennahem Ozon ist jedoch gering. Dies folgt aus einem Vergleich der flächenbezogenen Emissionen, welche für die Ozonbildung massgeblich sind. Die flächenbezogenen anthropogenen Emissionen der flüchtigen organischen Verbindungen sind im schweizerischen Mittel ungefähr 10 mal höher als die natürlichen.

---

Le rapport présente une évaluation quantitative des émissions de polluants atmosphériques provenant de sources naturelles en Suisse et les compare avec les émissions dues à l'activité humaine. Les émissions naturelles de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone et d'ammoniac constituent moins de 2 % de l'ensemble des émissions annuelles. Les émissions naturelles représentent 7 % du total des émissions dans le cas de protoxyde d'azote, et 15 % dans celui du méthane.

C'est uniquement dans le cas des composés organiques volatils que les émissions provenant de sources naturelles ont plus d'importance (proportion par rapport à l'ensemble des émissions: 25 %). Ces émissions proviennent essentiellement des forêts de résineux. L'influence des sources naturelles sur la formation d'ozone proche du sol est cependant faible, comme le démontre une comparaison des émissions par unité de surface déterminantes pour la formation d'ozone. En moyenne suisse, les émissions anthropiques de composés organiques volatils, par unité de surface, sont environ dix fois plus élevées que les émissions naturelles.

---

Il rapporto quantifica le emissioni di inquinanti atmosferici provenienti da fonti naturali e le confronta con le emissioni prodotte dall'uomo. Le emissioni naturali di anidride solforosa, di ossidi d'azoto, di monossido di carbonio e di ammoniaca rappresentano meno del 2 % delle emissioni totali annue. Per il protossido d'azoto e per il metano detta percentuale corrisponde al 7 % e al 15 % rispettivamente.

Le emissioni naturali di composti organici volatili sono invece relativamente importanti: rappresentano infatti il 25 % delle emissioni totali. Dette emissioni provengono soprattutto dai boschi di conifere. Tuttavia l'influsso delle fonti naturali sulla formazione dell'ozono in prossimità del suolo è debole. È quanto risulta da un confronto delle emissioni riferite alla superficie, parametro questo determinante per la formazione dell'ozono. In Svizzera, le emissioni antropogene di composti organici volatili riferite alla superficie superano in media di 10 volte quelle naturali.

---

The report quantifies the emissions of air pollutants originating from natural sources in Switzerland and compares them with the anthropogenic emissions. The natural emissions of sulphur dioxide, nitrogen oxides, carbon monoxide and ammonia amount to less than 2 % of the total annual emissions. The natural emissions of nitrous oxide and methane contribute 7 % and 15 % respectively to the total emissions.

It is only the class of non-methane volatile organic compounds where the contribution of natural emissions to the total emissions is significant, approaching 25 %. The coniferous forests are the main sources of these emissions. However, the importance of the emissions of the natural sources for the formation of tropospheric ozone is small. This results from the comparison of the emission densities which are relevant for the formation of ozone. In Switzerland, the mean emission density of anthropogenic volatile organic compounds is about 10 times higher than the natural one.

---

## **Avant-propos**

La qualité de notre air dépend essentiellement de la nature et de la quantité des substances qui y sont rejetées par les sources les plus diverses. Contrairement aux émissions dues à l'activité humaine, il est impossible d'influencer les émissions provenant de sources naturelles.

Le présent rapport indique les quantités de polluants atmosphériques provenant de sources naturelles et les compare avec celles d'origine humaine. Il permet de constater qu'en Suisse, les émissions naturelles sont d'importance mineure en ce qui concerne la pollution de l'air, et que les émissions d'origine humaine y jouent un rôle de loin plus décisif.

Pour retrouver et conserver un air propre et sain pour nous-mêmes et notre environnement, nous devons donc continuer à réduire les émissions anthropiques.

Gerhard Leutert  
Chef de la Division Protection de l'Air

## 1 Introduction

L'air pur, lorsqu'il est sec, se compose d'environ 78 % d'azote, de 21 % d'oxygène, de 0,9 % de gaz rares et de quelque 0,03 % de dioxyde de carbone. Il contient également un grand nombre de gaz en trace comme le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils, le méthane ainsi que des poussières.

La composition de l'air dépend entre autres des substances qui lui sont ajoutées. Le terme d'"émission" désigne le rejet de ces gaz, poussières et aérosols dans l'atmosphère. L'émission comprend à la fois des contributions imputables aux activités humaines (contributions dites anthropiques) et d'autres, d'origine naturelle.

Les activités humaines émettent de grandes quantités de polluants atmosphériques. Selon le type de polluant, elles proviennent essentiellement du trafic motorisé, des installations de combustion, de l'industrie et de l'artisanat ainsi que de l'agriculture. L'évolution des émissions anthropiques en Suisse a été réévaluée sur le plan quantitatif en 1995 et publiée dans deux rapports: une vue d'ensemble intitulée "Emissions de polluants dues à l'activité humaine en Suisse de 1900 à 2010" [1] et un rapport détaillé, "Emissionen von Luftschadstoffen in der Schweiz von 1900 bis 2010 - Anthropogene Emissionen im Detail" [2].

Pour pouvoir évaluer l'influence des émissions d'origine humaine sur la qualité de l'air, il est également nécessaire de connaître l'"émission de fond" due aux sources naturelles. Le présent rapport contient une récapitulation de ces émissions provenant de sources naturelles et permet de les comparer quantitativement avec celles issues des sources anthropiques.

Le présent rapport constitue une version remaniée et actualisée du rapport n° 75 "Emissions de polluants de l'air provenant de sources naturelles en Suisse" publié par l'OFEFP en 1987 [3]. Ces deux rapports ne sont pas comparables en raison de leurs structures différentes et du fait que la base de données a été améliorée entre-temps.

## Sources d'émission naturelles

Les émissions provenant de sources naturelles sont dues à divers processus. Le tableau 1 présente les processus d'émission naturels les plus importants ainsi que les principales substances qu'ils émettent dans l'atmosphère.

**Tab. 1** Processus d'émission naturels les plus importants et principales substances qu'ils émettent dans l'atmosphère

Processus	Substances émises
Processus microbiens et chimiques dans les sols et les eaux	Méthane (CH <sub>4</sub> ) Protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O) Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ) Ammoniac (NH <sub>3</sub> ) Hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S) Composés organiques du soufre
Emanations de plantes	Hydrocarbures (p.ex. isoprène, terpènes) Méthane (CH <sub>4</sub> ) Poussières de pollen
Digestion et déjections d'animaux	Méthane (CH <sub>4</sub> ) Ammoniac (NH <sub>3</sub> )
Erosion	Poussières
Embruns marins ("sea spray")	Aérosols issus de particules de sel marin
Foudre	Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )
Incendies de forêt et feux de brousse	Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ) Monoxyde de carbone (CO) Hydrocarbures Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> ) Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) Poussières
Eruptions volcaniques	Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ) Hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S) Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> ) Méthane (CH <sub>4</sub> ) Poussières
Météores et météorites	Poussières

Il est toutefois impossible d'établir une séparation nette entre émissions naturelles et anthropiques. S'il est vrai que certains phénomènes tels que les éruptions volcaniques ou la foudre échappent totalement à l'influence de l'homme, il en est d'autres, comme les émanations des plantes et les émissions dues aux animaux, qu'il est plus difficile de classer, car sans l'intervention de l'homme, la flore et la faune suisses se présenteraient différemment.

Pour comparer émissions naturelles et émissions anthropiques, il faut donc procéder à des délimitations plus ou moins arbitraires, ce qui a été fait ici en conformité avec les spécifications de l'inventaire CORINAIR, datant de 1990. Ainsi, les émissions des surfaces agricoles utiles et des animaux de rente sont considérées comme anthropiques, et celles des forêts, des zones humides, de la végétation improductive et des animaux sauvages comme naturelles.

Sur la base de ces définitions, le présent rapport traite des émissions des sources naturelles présentes en Suisse, soit

- les forêts,
- les herbages naturels,
- les eaux,
- les zones humides,
- les animaux sauvages,
- les incendies de forêt,
- la foudre.

### **Substances émises**

Parmi toutes les substances émises en Suisse (d'origine naturelle et anthropique), celles qui retiennent tout particulièrement l'attention sont celles abordées également dans le rapport sur les émissions anthropiques [1], à savoir le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), le monoxyde de carbone (CO), l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), l'acide chlorhydrique (HCl), l'acide fluorhydrique (HF), les poussières, les métaux lourds (Pb, Zn, Cd, Hg), les dioxines et les furannes ainsi que les gaz influençant le climat que sont les chlorofluorocarbones (CFC), le méthane ( $\text{CH}_4$ ), le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ).

On sait que les sources naturelles émettent du  $\text{SO}_2$ , des  $\text{NO}_x$ , des COVNM, du CO, du  $\text{NH}_3$ , des poussières, du  $\text{CH}_4$ , du  $\text{N}_2\text{O}$  et du  $\text{CO}_2$ . Deux de ces polluants - les poussières et le  $\text{CO}_2$  - constituent des cas particuliers. Ils sont exclus du présent rapport pour les motifs suivants:

- **Poussières**

En Suisse, les émissions naturelles de poussières sont dues à la production de pollen, à l'érosion et aux incendies de forêt. L'impact du pollen joue un rôle particulier pour la santé humaine, raison pour laquelle les immissions sont mesurées régulièrement durant la période de végétation par le réseau national de mesures des pollens (NAPOL). En revanche, on ne dispose que de peu d'informations sur les quantités d'émissions de pollen. Il en va de même pour les émissions de poussières dues à l'érosion. Cette base de données insuffisante nous a incités à renoncer à quantifier dans le présent rapport les émissions de poussières provenant de sources naturelles.

- **Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**

Les sources naturelles, et plus particulièrement les forêts, sont d'importants émetteurs de CO<sub>2</sub>. Cependant, dans un cycle naturel stationnaire, la même quantité de CO<sub>2</sub> est éliminée de l'air ambiant par des processus liant le CO<sub>2</sub>. Ainsi, lorsqu'on quantifie les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de sources naturelles, il faut également tenir compte de la fixation par les végétaux (puits). Ces cycles et les émissions et fixations de CO<sub>2</sub> qui en résultent sont traités dans l'inventaire climatique suisse [4] et ne figurent donc pas dans le présent rapport.

Par conséquent, le présent rapport aborde d'une part les polluants atmosphériques "classiques" que sont

- le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>),
- les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)
- les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM),
- le monoxyde de carbone (CO),
- l'ammoniac (NH<sub>3</sub>),

et, de l'autre, les gaz influençant le climat que sont

- le méthane (CH<sub>4</sub>) et
- le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).

### **Année de référence**

Ci-après, les émissions provenant de sources naturelles sont calculées pour l'année 1990. On a renoncé à représenter les séries chronologiques, étant donné que les émissions provenant de sources naturelles n'ont pas subi de changements essentiels par rapport aux émissions anthropiques au cours de ce siècle.

## 2 Calcul des émissions naturelles

Le calcul des émissions provenant de sources naturelles repose pour l'essentiel sur les deux éléments suivants:

- Le taux d'activité décrit, pour une source d'émission, la valeur de base à laquelle se rapportent les émissions. En ce qui concerne les sources naturelles, il s'agit essentiellement de surfaces (forêts, herbages naturels, zones humides, etc.) et de populations animales.
- Le coefficient d'émission indique la quantité de polluants émise par unité d'activité et par an, p.ex. par hectare de forêt et par an ou par animal sauvage et par an.

Les taux d'activité et les coefficients d'émission permettent de calculer les émissions annuelles des différents polluants et sources d'émission selon la formule suivante:

$$\boxed{\text{Quantité d'émissions}} = \boxed{\text{Taux d'activité}} \times \boxed{\text{Coefficient d'émission}}$$

Ce calcul a été effectué pour chaque polluant au moyen du coefficient d'émission correspondant.

Les coefficients d'émission des sources naturelles étant entachés d'une marge d'erreur relativement grande, il convient de noter que les quantités d'émissions calculées sont tout aussi imprécises. Elles présentent un degré d'exactitude d'environ  $\pm 50 \%$ .

En raison de cette imprécision, les coefficients d'émission calculés et les émissions qui en résultent ont été arrondis à deux décimales significatives. Toutefois, comme les calculs reposent sur des chiffres non arrondis, la quantité d'émissions figurant dans les tableaux ci-après peut différer légèrement du produit du taux d'activité et du coefficient d'émission.

Lorsque la littérature indique pour une seule et même source plusieurs coefficients d'émission présentant une dispersion supérieure à 10, on a retenu la moyenne géométrique de ces valeurs. Lorsque la dispersion des valeurs trouvées est inférieure à une puissance 10, le calcul est fondé sur la moyenne arithmétique.

Dans les cas où la littérature n'indique rien en ce qui concerne certaines activités ou coefficients d'émission, le calcul des émissions repose sur des valeurs équivalentes plausibles.

## 2.1 Forêts et herbages naturels

Les plantes sécrètent divers composés organiques volatils (COVNM) qui s'évaporent de la surface des feuilles et des aiguilles. Il s'agit notamment d'isoprène (provenant surtout des feuillus et des plantes herbacées) et de terpènes (provenant surtout des résineux). En outre, les plantes dégagent de l'éthylène et du méthane. Les émissions de la plupart des hydrocarbures dépendent du climat, et plus particulièrement de la température, de l'intensité de la lumière solaire et de l'humidité de l'air.

### *Forêts de résineux et de feuillus*

Les surfaces de forêt et les émissions de COVNM ont été calculées séparément pour chaque essence d'arbre et chaque région climatique dans une étude détaillée [5]. Cette étude ne prend cependant en compte que la forêt "accessible" telle qu'elle a été recensée dans le cadre de l'Inventaire forestier national, effectué de 1982 à 1986, et qui représente 92,5 % de la surface totale de forêt [6]. En 1990, la surface de forêt totalisait 1'196'000 ha [7]. Le regroupement des surfaces par essences d'arbres donne une répartition de 73,5 % de forêts de résineux et de 26,5 % de forêts de feuillus. Dans le présent rapport, les émissions de COVNM calculées à partir de l'étude [5], soit 87'000 t, ont été extrapolées à la totalité de la surface de forêt et attribuées aux forêts de résineux et de feuillus en fonction des pourcentages indiqués ci-dessus.

Pour le CH<sub>4</sub>, le manuel hollandais [8] permet d'estimer que les coefficients d'émission s'élèvent à 50 kg/ha/a pour les forêts de résineux et à 20 kg/ha/a pour les forêts de feuillus.

La littérature ne fournit que des estimations sommaires pour le calcul des émissions de protoxyde d'azote et d'oxydes d'azote provenant du sol des forêts. La publication citée sous [9] indique pour la forêt de la zone tempérée un coefficient d'émission de N<sub>2</sub>O variant entre 0,55 et 1,1 kg/ha/a. Nous avons retenu ici la moyenne de 0,82 kg/ha/a. Le rapport du FAC [10] mentionne une relation N<sub>2</sub>O / NO<sub>x</sub> donnant un coefficient d'émission de NO<sub>x</sub> de 0,11 kg/ha/a.

Dans le cas de l'ammoniac, il semble que la quantité provenant du sol de la forêt est directement réabsorbée par les plantes et que la forêt n'émet donc pas de NH<sub>3</sub> [11].

### Herbages naturels

La catégorie "Herbages naturels" recouvre la végétation improductive et les bordures de voies de communication telles qu'elles sont définies dans la Statistique de la superficie [12]. Il s'agit des arbustes et broussailles, de la végétation herbacée improductive, des biotopes humides, de la végétation des berges, des bordures de voies ferrées et de routes ainsi que des surfaces gazonnées des aérodomes.

La littérature n'indique pas de coefficients d'émission pour les COVNM et le CH<sub>4</sub>. Comme une grande partie des herbages naturels se situe dans les régions de montagne et qu'ils sont soumis aux mêmes conditions climatiques ou presque que les alpages, on a utilisé ici les coefficients d'émission se rapportant à ces derniers [13].

Pour le NH<sub>3</sub>, le rapport autrichien [11] indique pour les sols autres que ceux des cultures un coefficient d'émission d'environ 1 kg/ha/a.

Comme dans la publication citée sous [9], le présent rapport retient pour le N<sub>2</sub>O et les NO<sub>x</sub> émis par les herbages naturels les mêmes coefficients d'émission que pour les forêts.

**Tab. 2.1** Données d'émission pour les forêts et les herbages naturels

	Surface (ha)	Coefficients d'émission (kg/ha/a)					Emissions (t/a)				
		NO <sub>x</sub>	COVNM	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	COVNM	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Forêts de feuillus	318'000	0,11	7,4		20	0,82	35	2'400		6'400	260
Forêts de résineux	878'000	0,11	110		50	0,82	97	92'000		44'000	720
Herbages	255'000	0,11	2,0	1,0	8,4	0,82	28	510	260	2'100	210

## 2.2 Eaux et zones humides

Les processus biologiques qui se déroulent dans les eaux dégradent principalement les composés de l'azote et du carbone, qu'ils libèrent sous forme de gaz. Ainsi, les lacs et cours d'eau riches en oxygène oxydent les composés de l'azote en oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et les rejettent dans l'atmosphère. Dans les milieux pauvres en oxygène comme les zones humides et les sédiments des lacs et des cours d'eau, des processus naturels de dénitrification produisent du protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ). C'est également le manque d'oxygène qui entraîne la formation de méthane ( $\text{CH}_4$ ) dans les zones humides. Ces émissions sont appelées gaz de marais. Dans les lacs et cours d'eau, le méthane est immédiatement oxydé à mesure qu'il remonte à la surface, et les émissions de méthane sont nulles.

### *Lacs et cours d'eau*

Selon la Statistique de la superficie [12], les lacs et cours d'eau suisses (sans les berges) occupent une surface totale de 142'000 et 27'500 ha respectivement.

Dans une étude de la transformation du protoxyde d'azote dans six lacs suisses, on a calculé par extrapolation un taux de production de  $\text{N}_2\text{O}$  de 154 t/a pour l'ensemble des lacs suisses [14]. Ce chiffre permet de définir un coefficient d'émission de 1,1 kg/ha/a, qui a également été appliqué aux cours d'eau.

La relation  $\text{N}_2\text{O} / \text{NO}_x$  figurant dans le rapport cité sous [15] donne pour les eaux un coefficient d'émission de  $\text{NO}_x$  de 0,064 kg/ha/a.

### *Zones humides*

En 1980, la surface des zones humides (zones alluviales, marais et terres partiellement inondées) s'élevait à environ 40'000 ha [3]. On a retenu le même chiffre pour 1990 en supposant que le recul des superficies de marais intervenu entre 1980 et 1990 a été à peu près compensé par la progression des zones alluviales.

Pour le  $\text{CH}_4$ , on trouve dans la littérature des coefficients d'émission de 4 à 180 kg/ha/a, qui dépendent dans une mesure relativement forte de la température [16]. On a retenu ici un coefficient d'émission de  $\text{CH}_4$  moyen de 30 kg/ha/a.

Pour le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ), on a utilisé le même coefficient d'émission que pour les lacs et cours d'eau.

**Tab. 2.2** Données d'émission pour les eaux et les zones humides

	Surface (ha)	Coefficients d'émission (kg/ha/a)			Emissions (t/a)		
		NO <sub>x</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Lacs	142'000	0,064		1,1	9,1		150
Cours d'eau	27'500	0,064		1,1	1,8		30
Zones humides	40'000		30	1,1		1'200	43

### 2.3 Animaux sauvages

#### *Grands animaux sauvages*

L'expression "grands animaux sauvages" désigne les cerfs, les chevreuils, les chamois et les bouquetins. L'appareil digestif de ces herbivores produit du méthane (CH<sub>4</sub>) qui est émis par les déjections ou par la rumination. Les animaux émettent également de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) par le biais de leurs déjections.

En 1990, les populations de grands animaux sauvages s'élevaient à 21'195 cerfs, 114'703 chevreuils, 94'447 chamois et 14'451 bouquetins [17].

Pour le NH<sub>3</sub>, le rapport autrichien [11] indique un coefficient d'émission de 16 g/kg de poids corporel. Si l'on considère le poids vif moyen et les populations de grands animaux sauvages suisses, on obtient un coefficient d'émission pondéré de 0,40 kg/animal/a.

Alors que la littérature donne des indications sur la production spécifique de CH<sub>4</sub> des animaux de rente [18], elle ne fournit aucune donnée correspondante pour les animaux sauvages. Si l'on reprend les coefficients d'émission indiqués pour les bovins et qu'on les applique aux animaux sauvages en tenant compte des différences de poids vif, on obtient un coefficient d'émission pondéré d'environ 3,7 kg/animal/a.

#### *Petits animaux sauvages*

La désignation "petits animaux sauvages" regroupe les souris, les rats et autres rongeurs vivant dans les sols des forêts, les alpages et les surfaces agricoles [19].

La superficie des sols des forêts, des alpages et des surfaces agricoles s'élève respectivement à 1'196'000 ha, 565'000 ha et 1'017'000 ha [7, 20].

Selon la publication citée sous [21], les émissions de CH<sub>4</sub> des petits animaux sauvages atteignent 2 kg/ha/a pour ceux vivants dans les surfaces agricoles et 0,4 kg/ha/a pour ceux vivant dans les sols des forêts et des alpages. Cela donne pour la Suisse un coefficient d'émission pondéré en fonction des pourcentages de surface de 1,0 kg/ha/a.

La littérature ne fournit pas de coefficient d'émission pour l'ammoniac. On a donc retenu l'hypothèse sommaire selon laquelle la relation entre les coefficients d'émission d'ammoniac et de méthane est identique chez les petits et les grands animaux sauvages, ce qui donne un coefficient d'émission de NH<sub>3</sub> de 0,11 kg/ha/a.

Tab. 2.3 Données d'émission pour les animaux sauvages

	Population (nombre d'animaux)	Coefficients d'émission (kg/animal/a)		Emissions (t/a)	
		NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>
Grands animaux sauvages	245'000	0,40	3,7	98	910
<i>dont:</i>					
- cerfs	21'000	1,4	14	31	290
- chevreuils	115'000	0,24	2,3	28	260
- chamois	94'000	0,32	3,0	30	280
- bouquetins	14'000	0,64	6,0	9.2	87

	Surface (ha)	Coefficients d'émission (kg/ha/a)		Emissions (t/a)	
		NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>
Petits animaux sauvages	2'778'000	0,11	1,0	310	2'800
<i>dont:</i>					
- dans les sols des forêts	1'196'000	0,044	0,40	53	480
- dans les alpages	565'000	0,044	0,40	25	230
- dans les sols agricoles	1'017'000	0,22	2.0	220	2000

## 2.4 Incendies de forêt

En Suisse, les incendies de forêt ont détruit en 1990 une surface de forêt de 1'102 ha. Ils étaient dus à des phénomènes naturels, à l'imprévoyance de l'homme ou à des causes inconnues [7].

Les fumées émanant d'un incendie de forêt sont un mélange complexe de gaz nocifs et de particules solides. Les coefficients d'émission disponibles dans la littérature englobent un vaste domaine [8, 21, 22, 23, 24]. A partir de ces indications, on a calculé des moyennes arrondies pour les coefficients d'émission des polluants retenus.

Tab. 2.4 Données d'émission pour les incendies de forêt

Surface (ha)	Coefficients d'émission (kg/ha/a)					Emissions (t/a)				
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COVNM	CO	CH <sub>4</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COVNM	CO	CH <sub>4</sub>
1'100	40	80	550	1600	65	44	88	610	1800	72

## 2.5 Foudre

La foudre est une décharge électrique se produisant dans l'atmosphère. A proximité des canaux ionisés, on mesure des températures extrêmement élevées (jusqu'à 30'000 °C) qui entraînent la formation d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>).

Des mesures, des calculs théoriques et des expériences en laboratoire ont permis d'évaluer à quelque 30 millions t/a les émissions globales de NO<sub>x</sub> dues à la foudre [25]. En rapportant ce chiffre à la surface totale de la Terre, on obtient un coefficient global moyen d'émission d'environ 0,6 kg/ha/a.

Dans l'hypothèse sommaire où ce coefficient d'émission est également applicable à la Suisse, les émissions de NO<sub>x</sub> s'élèvent à 2'400 t/a.

Tab. 2.5 Données d'émission pour la foudre

Surface (ha)	Coefficient d'émission (kg/ha/a)	Emissions (t/a)
	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
4'128'000	0.59	2'400

### 3 Récapitulation des émissions naturelles

Le tableau 3 reprend toutes les émissions naturelles calculées au chapitre 2 pour la Suisse.

Pour le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), le monoxyde de carbone (CO), l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), les émissions provenant de sources naturelles se chiffrent à moins de 3'000 tonnes par an. Les quantités les plus importantes, à savoir respectivement 95'000 et 57'000 tonnes par an, concernent les composés organiques volatils (COVNM) et le méthane (CH<sub>4</sub>). Cependant, il n'est judicieux de discuter les quantités émises par les sources naturelles qu'en comparaison avec les émissions anthropiques (chapitre 4).

**Tab. 3** Emissions naturelles en Suisse en tonnes par an

	SO <sub>2</sub> t/a	NO <sub>x</sub> t/a	COVNM t/a	CO t/a	NH <sub>3</sub> t/a	CH <sub>4</sub> t/a	N <sub>2</sub> O t/a
Forêts de feuillus	0	35	2'400	0	0	6'400	260
Forêts de résineux	0	97	92'000	0	0	44'000	720
Herbages naturels	0	28	510	0	260	2'100	210
Lacs	0	9	0	0	0	0	150
Cours d'eau	0	2	0	0	0	0	30
Zones humides	0	0	0	0	0	1'200	43
Grands animaux sauvages	0	0	0	0	98	910	0
Petits animaux sauvages	0	0	0	0	310	2'800	0
Incendies de forêt	44	88	610	1'800	0	72	0
Foudre	0	2'400	0	0	0	0	0
<b>Total des émissions naturelles</b>	<b>44</b>	<b>2'700</b>	<b>95'000</b>	<b>1'800</b>	<b>660</b>	<b>57'000</b>	<b>1'400</b>

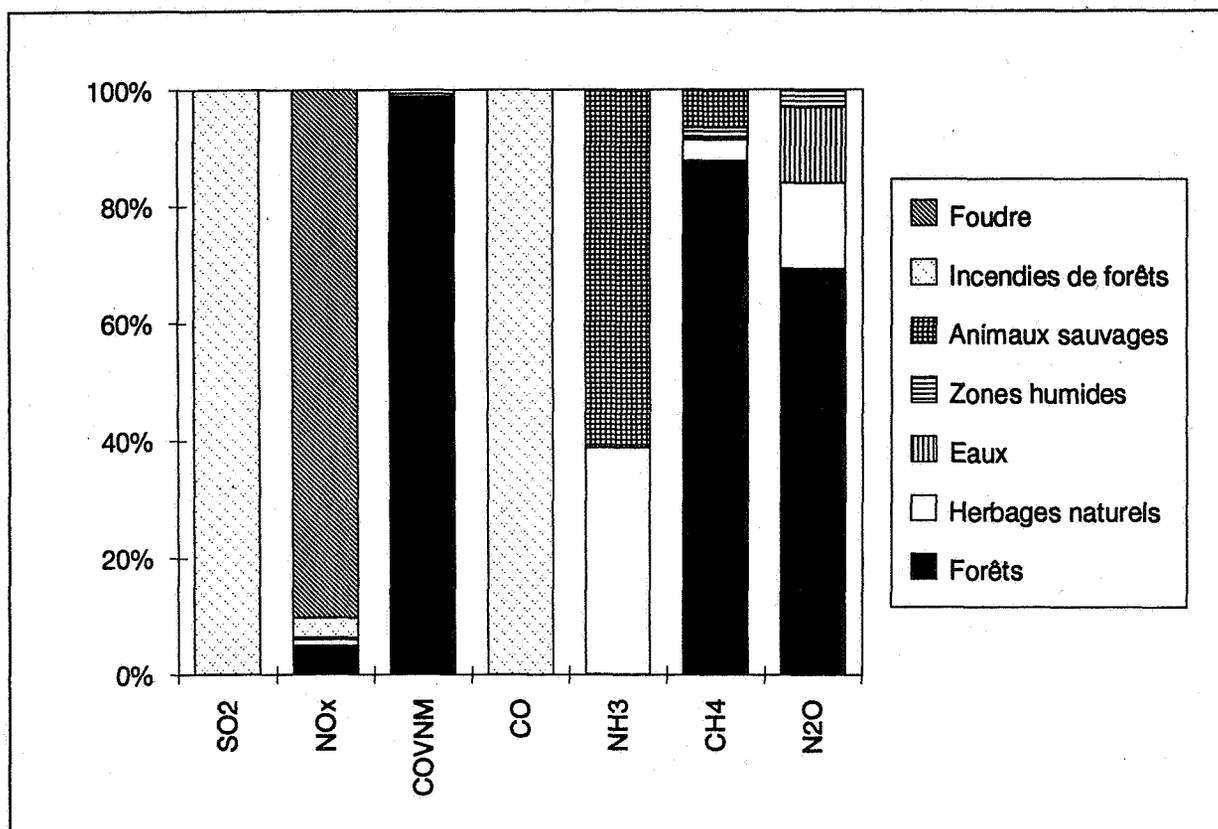
Les émissions de toutes les substances à l'exception de l'ammoniac sont principalement imputables à une catégorie de sources donnée, comme le montre le tableau ci-dessous.

Polluant	Source principale
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	Incendies de forêt
Oxydes d'azote (NO <sub>x</sub> )	Foudre
Composés organiques volatils (COVNM)	Forêts de résineux
Monoxyde de carbone (CO)	Incendies de forêt
Méthane (CH <sub>4</sub> )	Forêts (essentiellement forêts de résineux)
Protoxyde d'azote (N <sub>2</sub> O)	Forêts (forêts de résineux et de feuillus)

Les émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) sont dues pour environ deux tiers aux animaux sauvages (essentiellement les petits animaux sauvages) et un tiers aux herbages naturels.

La figure 3 montre les parts en pour-cent des différents groupes de sources dans le total des émissions naturelles.

Fig. 3 Parts en pour-cent des différentes groupes de sources dans les émissions naturelles



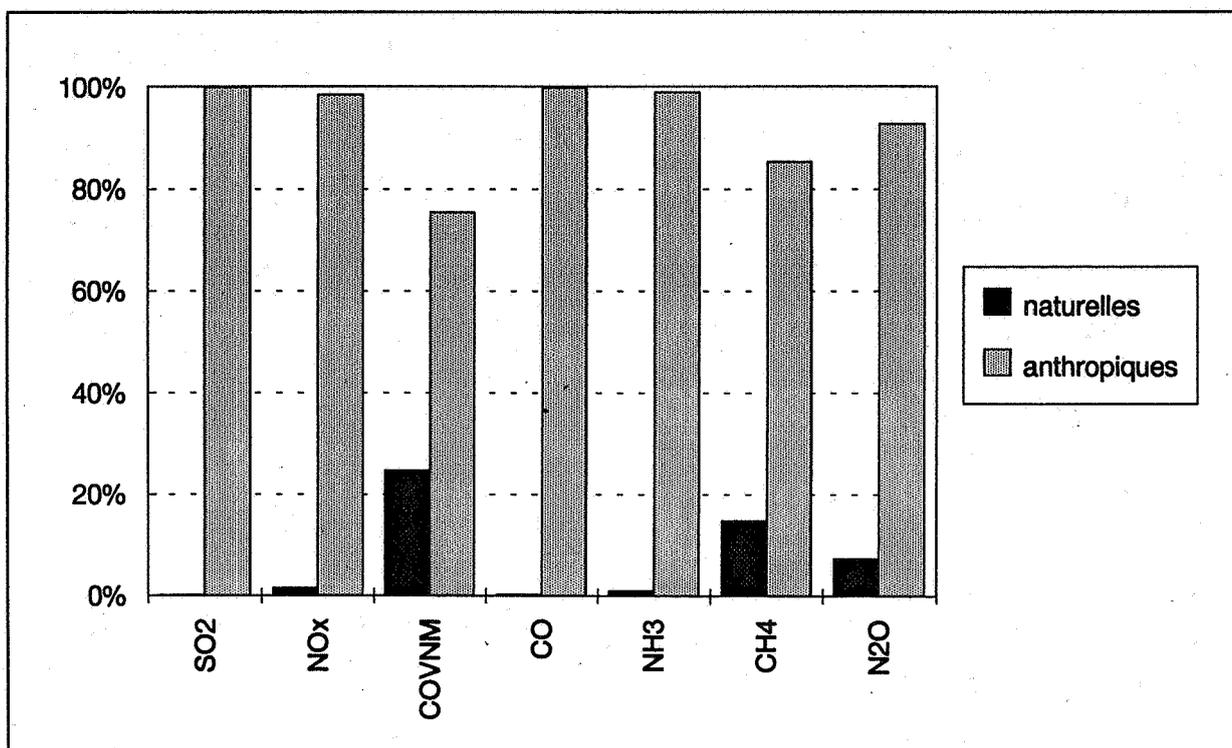
## 4 Comparaison avec les émissions anthropiques

Le tableau 4 et la figure 4 confrontent les émissions naturelles calculées dans le présent rapport avec les émissions anthropiques [1].

**Tab. 4** Emissions naturelles et anthropiques en Suisse pour l'année 1990

	SO <sub>2</sub> t/a	NO <sub>x</sub> t/a	COVNM t/a	CO t/a	NH <sub>3</sub> t/a	CH <sub>4</sub> t/a	N <sub>2</sub> O t/a
Total naturelles	44	2'700	95'000	1'800	660	57'000	1'400
Total anthropiques	42'500	166'000	292'000	707'000	62'100	332'000	18'000
Total des émissions	42'500	168'000	387'000	708'000	62'800	389'000	19'400

**Fig. 4** Parts en pour-cent des émissions naturelles et anthropiques dans le total des émissions pour l'année 1990



Dans le cas du dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), des oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), du monoxyde de carbone (CO) et de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ), les sources naturelles sont à l'origine de moins de 2 % du total des émissions. Pour les émissions de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et de méthane ( $\text{CH}_4$ ), la part des sources naturelles s'élève respectivement à 7 % et 15 %. La contribution la plus importante des sources naturelles dans le total des émissions concerne les composés organiques volatils (COVNM), avec une part de 25 %.

### **Influence des émissions naturelles et anthropiques sur la formation d'ozone proche du sol**

L'ozone proche du sol se forme à partir des oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) et des composés organiques volatils (COVNM), qui en sont les précurseurs. Etant donné que dans le cas des  $\text{NO}_x$ , les émissions naturelles représentent moins de 2 % du total des émissions, leur influence sur la formation d'ozone est négligeable. En revanche, la contribution des émissions naturelles de COVNM pourrait être déterminante. Cette supposition est analysée plus en détail ci-après.

En tant que processus chimique, la formation d'ozone dépend des concentrations locales de précurseurs, qui sont à leur tour influencées par les quantités d'émissions provenant d'une unité de surface donnée, c'est-à-dire du "coefficient d'émission par unité de surface". Etant donné que la formation d'ozone est particulièrement importante en été, on a calculé ici les coefficients d'émission naturelles et anthropiques de COVNM par unité de surface pour le semestre d'été.

Les émissions naturelles de COVNM proviennent pour plus de 99 % des forêts, raison pour laquelle les autres sources peuvent être ignorées. La publication citée sous [5] permet de déduire qu'environ  $\frac{2}{3}$  de la quantité de COVNM émise par les arbres l'est durant le semestre d'été, autrement dit pendant la période de végétation. Cela donne, pour les forêts de résineux et de feuillus prises ensemble, une quantité d'émissions de 63'000 t de COVNM pour le semestre d'été. En divisant cette quantité d'émissions par la surface totale de forêt, on obtient un coefficient d'émission de COVNM par unité de surface de 53 kg/ha.

Pour les émissions anthropiques de COVNM, il est permis de supposer que l'évolution reste relativement constante pendant l'année. Donc, pour le semestre d'été, la quantité d'émissions anthropiques représente environ la moitié de la quantité annuelle d'émissions, soit 146'000 t pour 1990. Il est par ailleurs probable que la

grande majorité des émissions anthropiques sont le fait des zones d'habitat. Par conséquent, on peut calculer le coefficient d'émission moyen par unité de surface pour le semestre d'été à partir de la quantité d'émissions anthropiques estivales et de la surface nette d'habitat en Suisse, à savoir 242'000 ha [20], ce qui donne 600 kg/ha pour le semestre d'été 1990.

La comparaison des coefficients d'émission naturelles et anthropiques par unité de surface, soit respectivement 53 kg/ha et 600 kg/ha, montre qu'en moyenne suisse, les émissions anthropiques de COVNM par unité de surface sont environ dix fois plus élevées durant le semestre d'été que les émissions naturelles.

Il convient de souligner ici que ce facteur 10 n'est qu'une estimation sommaire de la moyenne suisse et que la relation se déplace dans un sens ou dans l'autre selon que l'on se trouve en région urbaine ou rurale. Alors que dans les régions urbaines, les émissions anthropiques peuvent être plus de vingt fois supérieures aux émissions naturelles, il arrive qu'à la campagne, les émissions naturelles dominent [26]. Toutefois, dans les zones rurales, la formation d'ozone est déterminée presque uniquement par les concentrations de  $\text{NO}_x$  et ne dépend que dans une très faible mesure de celles de COVNM. Les sources naturelles ne jouent donc un rôle déterminant dans la formation d'ozone proche du sol ni en ville ni à la campagne.

## 5 Conclusions

Les émissions provenant de sources naturelles sont nettement moins importantes que les émissions d'origine humaine pour tous les polluants étudiés.

Les émissions naturelles de dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), de monoxyde de carbone (CO) et d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) entrent pour moins de 2 % dans le total des émissions des mêmes substances. Les émissions naturelles de protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) représentent 7 % du total des émissions.

Les émissions naturelles de méthane ( $\text{CH}_4$ ) et de composés organiques volatils (COVNM) s'élèvent respectivement à 57'000 et à 95'000 tonnes par an, soit, en 1990, à 15 % des émissions totales de méthane et à 25 % de celles de COVNM. Ces émissions proviennent essentiellement de la forêt, et plus particulièrement des forêts de résineux. En ce qui concerne les quantités, les émissions anthropiques de COVNM équivalent donc au triple des émissions naturelles. Par contre, pour les coefficients d'émission par unité de surface durant le semestre d'été - qui sont déterminants pour la formation d'ozone -, les émissions anthropiques sont dix fois supérieures en moyenne suisse, voire plus dans les zones d'habitat. Les émissions naturelles de COVNM jouent donc un rôle secondaire par rapport aux émissions anthropiques dans la formation d'ozone proche du sol en Suisse, comme le confirment d'ailleurs les modèles photochimiques [27].

Les études démontrent une fois de plus qu'on ne peut améliorer la qualité de l'air qu'en réduisant les émissions anthropiques, et ce, non seulement parce qu'il est impossible d'influencer les émissions naturelles, mais aussi et surtout parce qu'en Suisse, les émissions d'origine humaine sont largement supérieures aux émissions naturelles.

## Abréviations

CH <sub>4</sub>	méthane
CO	monoxyde de carbone
CO <sub>2</sub>	dioxyde de carbone
CORINAIR	inventaire de l'Union Européenne relatif aux émissions polluantes sur l'ensemble de l'Europe dans le cadre de la Coordination d'Information Environnementale, partie Air
COVNM	composés organiques volatils non méthaniques
ha	hectare
kg/ha/a	kilogrammes par hectare et par an
N <sub>2</sub> O	protoxyde d'azote
NH <sub>3</sub>	ammoniac
NO <sub>x</sub>	oxydes d'azote (NO et NO <sub>2</sub> )
SO <sub>2</sub>	dioxyde de soufre
t/a	tonnes par an

## Bibliographie

- 1 OFEFP (1995) Emissions polluantes dues à l'activité humaine en Suisse de 1900 à 2010. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Cahier de l'environnement n° 256
- 2 OFEFP (1996) Emissionen von Luftschadstoffen in der Schweiz von 1900 bis 2010 - Anthropogene Emissionen im Detail. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Documents environnement, en préparation
- 3 OFEFP (1987) Emissions de polluants de l'air provenant de sources naturelles en Suisse. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Cahier de l'environnement n° 75
- 4 OFEFP (1996). Swiss Greenhouse Inventory 1990 - 1994, UN Framework Convention on Climate Change. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
- 5 Andreani-Aksoyoglu S. und Keller J. (1995) Estimates of monoterpene and isoprene emissions from the forests in Switzerland. J. Atmos. Chem. Vol. 20, p. 71
- 6 Institut fédéral de recherches forestières (1988) Inventaire forestier national suisse. Résultats du premier inventaire 1982-1986. Rapport n° 305. Institut fédéral de recherches forestières, Birmensdorf
- 7 OFEFP/OFS (1992). Annuaire suisse de l'économie forestière et de l'industrie du bois 1990. Office fédéral de la statistique
- 8 Dutch Ministry of Health and Environmental Protection (1980) Handbook of emission factors. Government Publishing Office, The Hague, Netherland
- 9 Robertson K. (1991) Emissions of N<sub>2</sub>O in Sweden - natural and anthropogenic sources. Ambio (1991) Vol. 20, No. 3 - 4, p. 151
- 10 Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement (1990) Séminaire d'octobre FAC 1988: Azote en agriculture, dans l'air et l'environnement. Les cahiers de la FAC n° 7
- 11 Umweltbundesamt Wien (1993) Ammoniak-Emissionen in Oesterreich 1990. Reports, UBA-92-068

- 12 Office fédéral de la statistique (1992). L'utilisation du sol en Suisse. Statistique de la superficie 1979/85, Catalogue des catégories d'utilisation
- 13 OFEFP (1995) Manuel Coefficients d'émission des sources stationnaires. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. L'environnement pratique
- 14 Mengis M., Gächter R. und Wehrli B. (1996) Sources and sinks of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) in deep lakes. Soumis pour publication dans Biogeochemistry
- 15 Stadelmann F. X. (1984) Natürliche Denitrifikations- resp. Stickoxidverluste in der Schweiz. Rapport de la Station fédérale de recherches en chimie agricole et sur l'hygiène de l'environnement
- 16 Seiler W. (1984) Contribution of biological processes to the global budget of CH<sub>4</sub> in the atmosphere. In: Current Perspectives in Microbial Ecology, American Society for Microbiology, Washington D.C.
- 17 OFEFP (1993) Capt S., Section Chasse et étude de la faune. Communication personnelle
- 18 IPCC/OECD (1994) Greenhouse Gas Inventory Workbook. Final draft. Volume 2
- 19 Battelle Ingenieurtechnik GmbH Eschborn (1994) Methanfreisetzung bei der Erdgasnutzung und Vergleich mit anderen Emittenten
- 20 Office fédéral de la statistique (1993) Annuaire statistique de la Suisse. Chapitre 2 (Espace, paysage, environnement)
- 21 Chung Y.-S. (1984) On the forest fires and the analysis of air quality data and total atmospheric ozone. Atmospheric Environment Vol. 18. No. 10
- 22 US EPA (1985) Emission factors, Ap. 42 5/83
- 23 CORINAIR Inventory (1992) Default Emission Factors Handbook (2nd edition)
- 24 Schön et al. (1993) Emission der Treibhausgase Distickstoffoxid und Methan in Deutschland. Phase 1. Forschungsbericht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Luftreinhaltung, Forschungsbericht 104 02 682, UBA-FB 93-121. E.Schmid Verlag

- 25 Brewer D.A. (1984) Tropospheric sources of NO<sub>x</sub>: Lightning and biology. Atmospheric Environment Vol. 18, No. 9
- 26 OFEFP (1996) Troposphärisches Ozon - Aktuelle Forschungsergebnisse und ihre Konsequenzen für die Luftreinhaltung. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. Cahier de l'environnement, en préparation
- 27 Andreani-Aksoyoglu S. und Keller. J. (1996) Air quality modelling in Switzerland in view of the ecological assessment of energy systems. PSI Annual Report 1995 / Annex V, p. 102