

# Ozone troposphérique en Suisse

## Ozone concentrations in Switzerland

Prof. Hans-Urs WANNER (\*), Dr. Paul FILLIGER (\*\*)

### RÉSUMÉ

Comme dans d'autres pays d'Europe, on mesure aujourd'hui en Suisse des concentrations d'ozone notablement plus élevées que les simples concentrations naturelles. Ces dernières années, il n'a pas été possible de constater une tendance générale de l'évolution des taux d'ozone. Les concentrations d'ozone varient fortement d'une année à l'autre, raison pour laquelle il n'est possible de dégager aucune tendance à ce jour. Ces fluctuations s'expliquent en premier lieu par les conditions climatiques caractérisant un été. Une tendance semble toutefois se dessiner : les emplacements précédemment considérés comme très pollués paraissent enregistrer une diminution, alors qu'aux endroits peu touchés dans le passé la tendance est inverse. Il ressort de la statistique pour 1992 que les valeurs limites fixées pour l'ozone dans l'ordonnance sur la protection de l'air (moyenne horaire maximale :  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fréquence cumulée de 98 % des moyennes semi-horaires d'un mois :  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sont fréquemment dépassées et parfois de façon considérable.

### ABSTRACT

As with other European countries, considerably higher ozone concentration are measured in Switzerland than would occur naturally. At the measuring stations of the national survey network for air pollutants (NABEL), especially in years with favourable meteorological conditions for the formation of photochemical oxidants, the following values have been found : yearly average values of up to  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , monthly average values of up to  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , and maximum 1-hourly average values towards  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ozone peak concentrations occurred during distinct episodes in the hot season. The episodes extended mainly over the whole country and were measured at all stations at almost the same time, though with different concentrations. The highest peak concentrations occurred in the Swiss plateau between the Jura and the Alps. In comparison higher mean concentrations over the year and over the vegetation period were found in the Lower Alps and Alps. The Air Quality Standards in the Swiss Ordinance on Air Pollution Control (maximum 1 hourly-average  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and the similar guidelines for air quality established by international specialized organization such as the World Health Organization and the ECE-expert groups « Effect of Pollutants » have often and sometimes considerably been exceeded during the hot season.

### 1. La situation des immissions en Suisse

Aujourd'hui en Suisse, plus de 100 stations spéciales mesurent continuellement les charges de divers polluants dans l'air. Elles sont exploitées par la Confédération, les cantons, les municipalités et par diverses autres institutions. Les valeurs recueillies par ces stations de mesure donnent un aperçu assez complet de la pollution de l'air en Suisse [1, 2].

L'appréciation de la pollution de l'air suppose une comparaison des concentrations de polluants mesurées avec les *valeurs limites d'immission* ar-

rêtées dans l'ordonnance sur la protection de l'air. Fixées en fonction des exigences énoncées dans la loi sur la protection de l'environnement, ces valeurs indiquent quelles charges ne doivent pas être dépassées si l'on veut éviter des effets nuisibles. L'ordonnance sur la protection de l'air fixe des valeurs limites d'immission pour différents polluants (tableau I). Ci-après, la gravité de la pollution de l'air est toujours considérée par rapport à ces valeurs limites d'immission.

Une évaluation globale de la situation des immissions, sur la base des mesures faites par ces stations, donne l'image suivante pour 1992 (fig. 1).

Dans les situations de smog estival, les charges d'ozone sur l'ensemble du territoire suisse se situent au-dessus des valeurs limites, les dépassant parfois considérablement.

(\*) Ecole polytechnique fédérale de Zürich.

(\*\*) Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne.

Tableau I.  
valeurs limites d'immissions de l'ordonnance sur la protection de l'air.  
Air Protection Regulations concerning Immission Limits.

Substance	Valeur limite d'immissions	Définition statistique
Dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> )	30 µg/m <sup>3</sup> 100 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique) Moyenne par 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	30 µg/m <sup>3</sup> 80 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique) Moyenne par 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Monoxyde de carbone (CO)	8 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne par 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Ozone (O <sub>3</sub> )	100 µg/m <sup>3</sup> 120 µg/m <sup>3</sup>	80 % des moy. semi-horaires d'un mois ≤ 100 µg/m <sup>3</sup> Moyenne par 24 h ; ne doit en aucun cas être dépassée plus d'une fois par année
Poussières en suspension (total)	70 µg/m <sup>3</sup> 150 µg/m <sup>3</sup>	Moyenne annuelle (moyenne arithmétique) 95 % des moyennes par 24 h d'une année < 150 µg/m <sup>3</sup>

	Ville	Agglomération	Région rurale
Dioxyde de soufre	○	○	○
Poussières en suspension	◐	○	○
Monoxyde de carbone (CO)	○	○	○
Dioxyde d'azote (NO <sub>2</sub> )	◐	◐	◐
Ozone (O <sub>3</sub> )	◐	◐	◐

- Valeurs limites d'immissions en grande partie respectées
- ◐ Valeurs limites d'immissions partiellement dépassées
- ◑ Valeurs limites d'immissions dépassées souvent et/ou considérablement

Figure 1.  
Aperçu schématique de la situation des immissions en Suisse.  
Summary of the Situation of Swiss Immissions.

Au centre des villes, les valeurs limites fixées pour le *dioxyde d'azote* sont dépassées dans tous les cas, par endroit très nettement. Dans les agglomérations, les taux de NO<sub>2</sub> mesurés à l'écart des principaux axes routiers atteignent la valeur limite ou sont légèrement supérieurs ; le long des routes les plus fréquentées, ils sont généralement bien au-dessus de cette valeur. Dans les régions rura-

les – exception faite de corridors, larges de plusieurs centaines de mètres, suivant les grands axes routiers – les valeurs limites pour le NO<sub>2</sub> sont respectées.

Les concentrations de *poussières en suspension* (poussières fines en suspension dont la vitesse de descente verticale est inférieure à 10 cm/s) tout comme les *retombées de poussières* d'ailleurs, ne dépassent les valeurs limites qu'en peu d'endroits, particulièrement exposés et où la circulation est importante. Cette même constatation vaut pour les *métaux lourds* (plomb, cadmium, zinc) présents dans les *retombées de poussières*. Seuls de rares dépassements des valeurs limites ont été mesurés, le long de routes très fréquentées ou à proximité d'industries métallurgiques.

En 1992, les valeurs limites fixées pour le *dioxyde de soufre*, le *monoxyde de carbone* et les *métaux lourds présents dans les poussières en suspension* n'ont pas été dépassées ou ne l'ont été que dans des cas isolés.

Ce tour d'horizon montre clairement qu'en matière de pollution atmosphérique ce sont surtout le *dioxyde d'azote* et l'*ozone* qui font problème en Suisse. En revanche, les charges de *dioxyde de soufre* ont considérablement baissé depuis l'introduction de mesures applicables aux installations de combustion (privées et industrielles) ; aujourd'hui, ces émissions ne posent pour ainsi dire plus de problème.

## 2. Évolution des immissions d'ozone depuis 1981

Ces dernières années, il n'a pas été possible de constater une tendance générale de l'évolution des taux d'ozone. Cette affirmation vaut tant pour les charges moyennes (fig. 2) que pour les concentrations de pointe pendant le mois d'été le plus touché (fig. 3) et pour le nombre de dépassements de la valeur limite (fig. 4).

Des graphiques qui précèdent, on peut tirer les conclusions suivantes :

- les concentrations d'ozone varient fortement d'une année à l'autre, raison pour laquelle il n'est possible de dégager aucune tendance à ce jour. Ces fluctuations s'expliquent en premier lieu par les conditions climatiques caractérisant un été.

- Une tendance semble toutefois se dessiner : les emplacements précédemment considérés comme très pollués paraissent enregistrer une diminution, alors qu'aux endroits peu touchés dans le passé la tendance est inverse.

- Les taux records mesurés en 1985 et 1986 par les stations de Payerne et de Bâle n'ont plus été atteints durant les étés de 1991 et 1992, pourtant eux aussi très ensoleillés et chauds, donc favorables à la synthèse d'ozone. Il est possible que ce soit là un premier signe d'amélioration, mais ce n'est pas suffisant pour parler de tendance.

- Seule une réduction considérable des substances « précurseurs » parviendra à diminuer notablement la charge d'ozone.

## 3. La situation en 1992

Il ressort de la statistique pour 1992 (tableau II) que les valeurs limites fixées pour l'ozone dans l'ordonnance sur la protection de l'air (moyenne horaire maximale :  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ; fréquence cumulée de 98 % des moyennes semi-horaires d'un mois :  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sont fréquemment dépassées et parfois de façon considérable. Les dépassements des valeurs limites d'immission se produisent généralement entre avril et septembre, le maximum étant atteint en juillet et en août. En 1992, il y a généralement eu de nombreux excès au mois de mai, très doux et ensoleillé. Les plus fortes concentrations (valeur 98 %) ont été mesurées à Lugano et à Magadino, avec respectivement 215 et  $188 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A Davos et sur le Jungfrauoch en revanche, la valeur 98 % maximale a été de respectivement 115 et  $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ce qui montre clairement que les taux de pointe estivaux se produisent dans les couches les plus basses de l'atmosphère.

C'est à Zurich que le réseau NABEL a enregistré la moyenne horaire la plus élevée en 1992, soit  $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cette valeur est légèrement supérieure aux taux maximaux mesurés à Lugano ( $248 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et à Magadino ( $242 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Au Jungfrauoch, une concentration de  $244 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a été

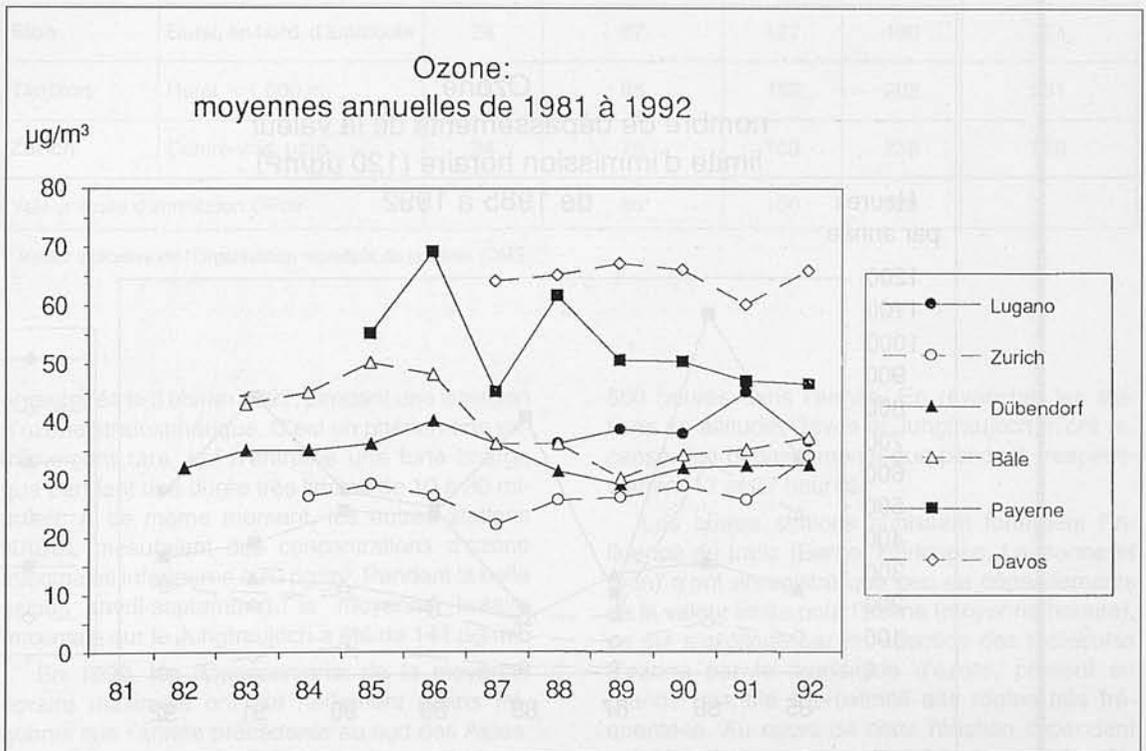


Figure 2.  
Ozone, moyennes annuelles de 1981-1992.  
Annual Ozone Means : 1981-1992.

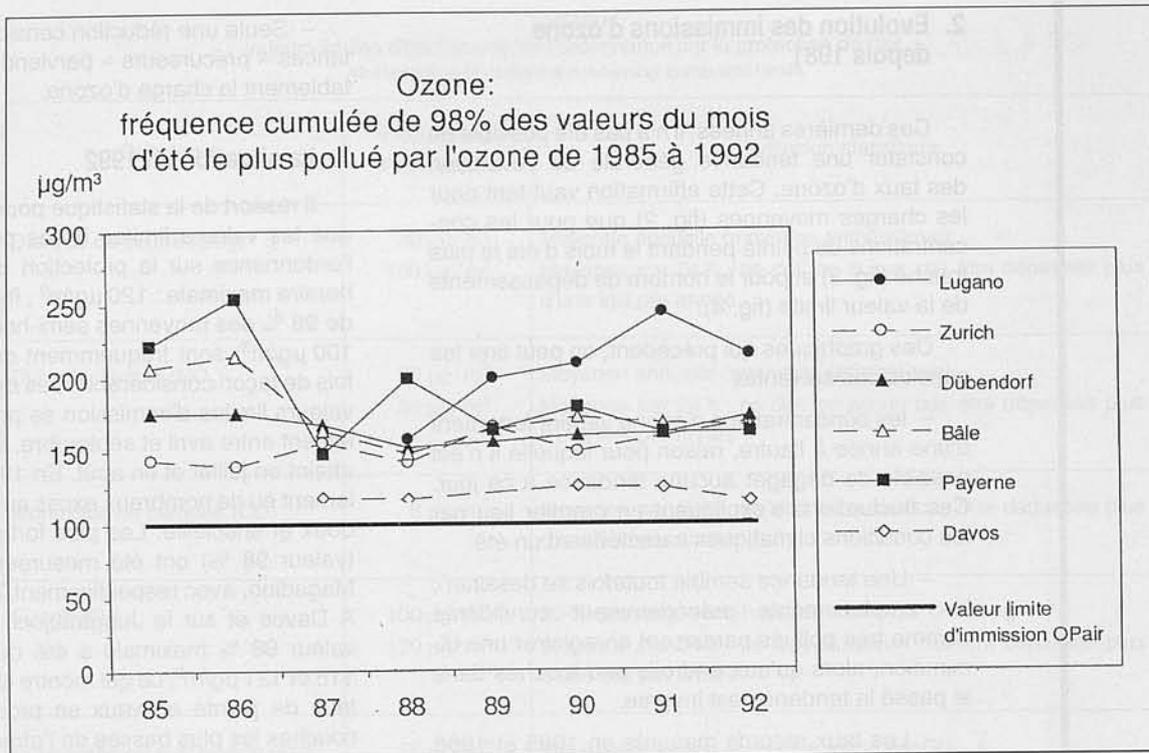


Figure 3

Ozone : fréquence cumulée de 98 % des valeurs du mois d'été le plus pollué par l'ozone de 1985-1992.  
 Ozone : Cumulate Frequency of 98 % of the Values of the Most Ozone Polluted Summer Month between 1985 and 1992.

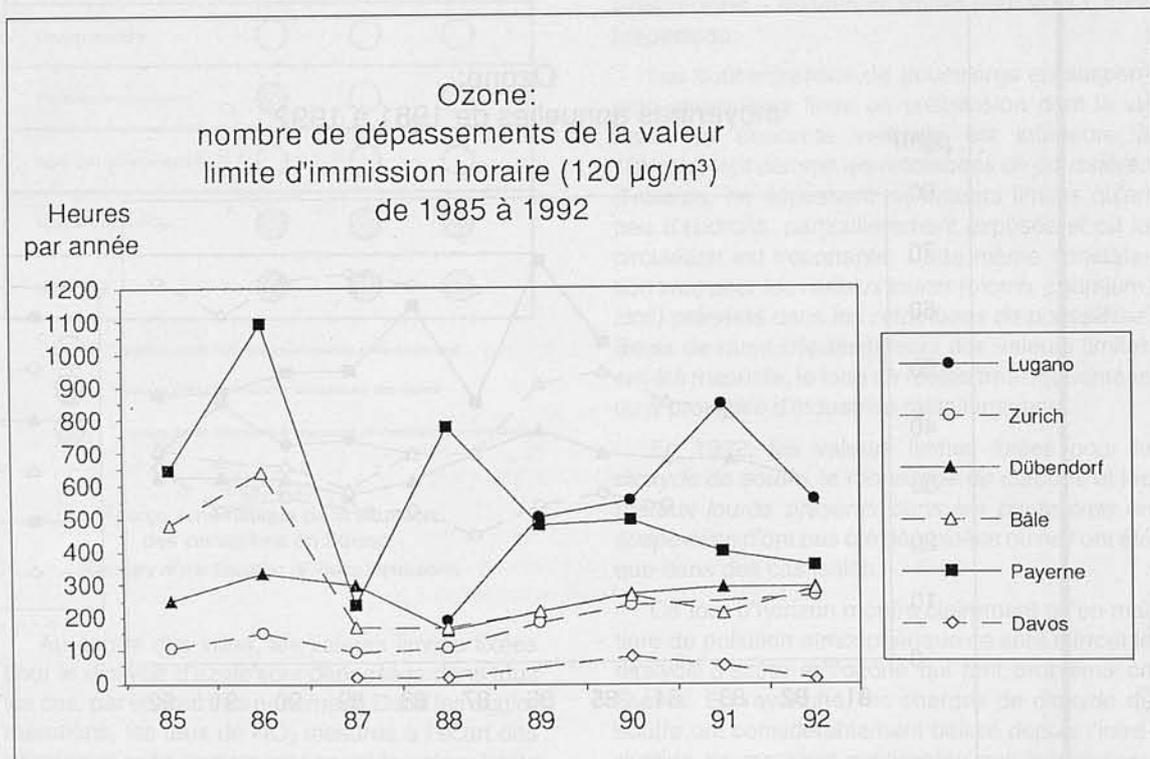


Figure 4

Ozone : nombre de dépassements de la valeur limite d'immission horaire (12 µg/m³) de 1985 à 1992.  
 Ozone : number of times the hourly immission limits have been exceeded between 1985 and 1992.

Tableau II.  
Ozone, statistique annuelle 1992.  
Annual Ozone Statistics : 1992.

Station	Type d'emplacement	Moyenne annuelle 1992 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne du semestre d'été 1992 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Val. 98 % max. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Moyenne horaire max. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre de dépassements (de la moyenne horaire)
Bâle	Agglomération	37	77	166	198	290
Berne	Centre-ville, en bord. route	9	21	73	94	0
Chaumont	Rural, > 1 000 m	72	88	163	189	548
Davos	Rural, > 1 000 m	66	82	115	132	17
Dübendorf	Agglomération	32	78	173	224	294
Härkingen	Rural, en bord. d'autoroute	24	52	137	190	66
Jungfrauoch	Haute-montagne	68	75	121	244	27
Lägeren	Rural, < 1 000 m	59	82	160	177	385
Lausanne	Centre-ville, en bord. route	25	45	117	142	20
Lugano	Centre-ville, parc	36	90	215	248	558
Magadino	Agglomération - rural	34	80	188	242	445
Payerne	Rural, < 1 000 m	46	90	162	178	359
Rigi	Rural, > 1 000 m	71	89	165	185	558
Sion	Rural, en bord. d'autoroute	28	67	127	160	74
Tänikon	Rural, < 1 000 m	45	85	152	202	281
Zurich	Centre-ville, parc	34	75	169	258	268
Valeur limite d'immission OPair			60*	100	120	

\* Valeur indicative de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

enregistrée le 3 février 1992, pendant une intrusion d'ozone stratosphérique. C'est un phénomène extrêmement rare, qui n'entraîne une forte charge que pendant une durée très limitée de 10 à 30 minutes. A ce même moment, les autres stations NABEL mesuraient des concentrations d'ozone maximales inférieures à  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pendant la belle saison (avril-septembre), la moyenne horaire maximale sur le Jungfrauoch a été de  $141 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En 1992, les dépassements de la moyenne horaire maximale ont été nettement moins fréquents que l'année précédente au sud des Alpes, alors qu'au nord des Alpes la situation est restée plus ou moins la même qu'en 1991. A Lugano, au Rigi-Seebodenalp et au Chaumont, la valeur limite d'immission a été dépassée pendant quelques

550 heures dans l'année. En revanche, les stations en altitude, Davos et Jungfrauoch, n'ont recensé des dépassements que pendant respectivement 17 et 27 heures.

Les quatre stations subissant fortement l'influence du trafic (Berne, Härkingen, Lausanne et Sion) n'ont enregistré que peu de dépassements de la valeur limite pour l'ozone (moyenne horaire), ce qui s'explique par la réduction des molécules d'ozone par le monoxyde d'azote, présent en grande quantité à proximité des routes très fréquentées. Au cours de cette réaction cependant est synthétisé un autre polluant, le dioxyde d'azote, qui est aussi un précurseur de l'ozone ; cet ozone n'est toutefois formé qu'à des distances assez grandes de la source.

#### 4. Les variations saisonnières

Ce qui est frappant dans le cas de l'ozone, ce sont les variations saisonnières (fig. 5). On voit en effet que durant l'été les concentrations sont considérablement plus fortes qu'en hiver. Ces fluctuations sont diamétralement opposées à celles observées pour la plupart des autres polluants atmosphériques, qui sont plus abondants en hiver. Pour l'étude du polluant secondaire qu'est l'ozone, il convient de considérer séparément le nord et le sud des Alpes, ces deux régions connaissant des conditions météorologiques différentes. Un examen des graphiques présentant les moyennes estivales révèle que les stations subissant directement les conséquences de la circulation routière mesurent les taux les plus faibles (en raison de la réduction de l'ozone par le monoxyde d'azote), tandis que les stations situées à une altitude moyenne (Chaumont, Rigi) enregistrent les concentrations les plus fortes. Davos en revanche, sis à une plus grande altitude (ligne pointillée fine), mesure des valeurs nettement inférieures en été que Chaumont et Rigi. Cependant, les moyennes mensuelles les plus élevées y ont déjà été enregistrées en avril, tandis que les autres stations n'ont atteint les taux maximums en 1992 que durant les mois estivaux.

#### 5. Les stratégies visant la réduction de l'ozone

Pour arriver à respecter les valeurs limites d'immission pour l'ozone, il faut diminuer les émissions

de  $\text{NO}_x$  et de COV de 70 à 80 %, relativement à leur niveau de la première moitié des années huitante. C'est en 1988 déjà que la Commission fédérale de l'hygiène de l'air était arrivée à cette conclusion, à la suite de son évaluation approfondie de la situation de l'ozone, présentée dans le rapport « L'ozone en Suisse » [3]. Ces considérations restent valables à l'heure actuelle ; on a constaté de plus que, selon les études les plus récentes, il convenait, dans la lutte contre les valeurs de pointe de l'ozone dans les zones rurales, de mettre de préférence l'accent sur la réduction des  $\text{NO}_x$  plutôt que sur celle des COV.

Telle est généralement la conclusion par exemple d'une étude approfondie, mandatée par le *National Research Council* des États-Unis [4]. Cette étude relativise la stratégie jusqu'alors adoptée pour la réduction de l'ozone par les États-Unis, initialement focalisée sur la réduction des émissions de COV, et souligne l'importance qu'il convient d'attribuer aux réductions de  $\text{NO}_x$ .

Les vastes travaux en matière d'hygiène de l'air entrepris dans le cadre du *programme suisse de recherche POLLUMET* montrent que, compte non tenu de la charge polluante de base affectant de vastes zones, les valeurs de pointe de l'ozone apparaissent sur le Plateau suisse durant les mois estivaux sont fortement influencées par les émissions locales et régionales. Bien que des études provisoires, menées au Tessin et dans l'espace genevois, présentent certaines différences avec la situation observée en général dans le Plateau, on

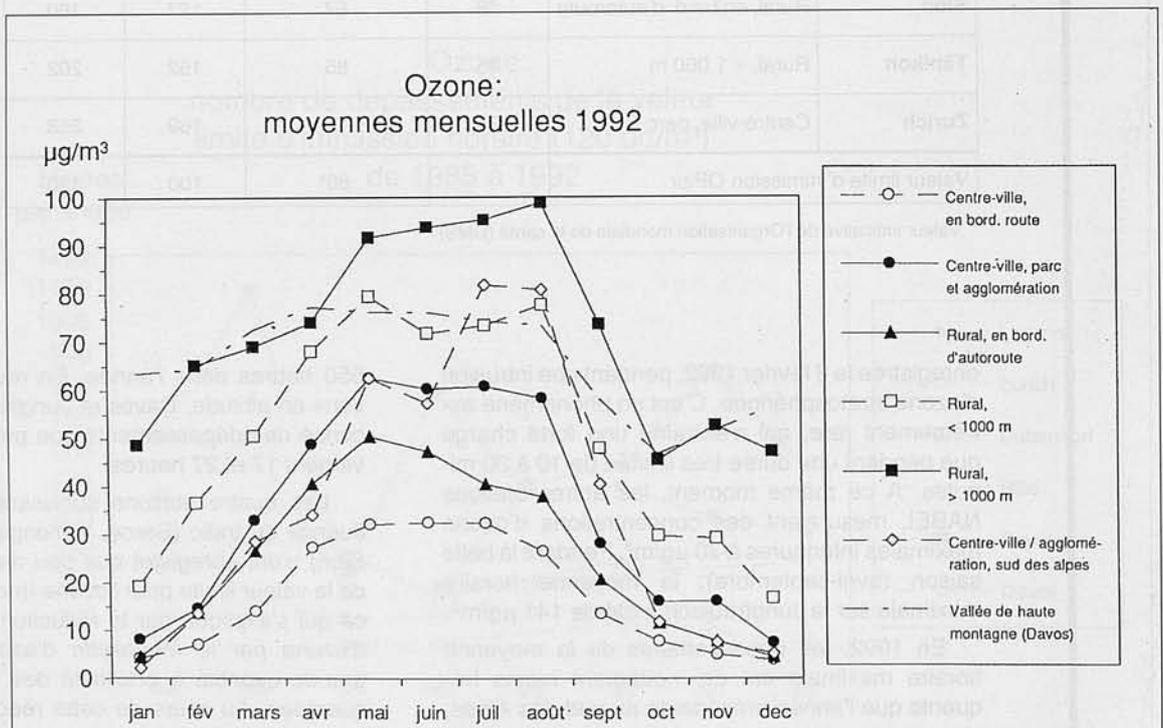


Figure 5  
Ozone : moyennes mensuelles en fonction de l'emplacement, 1992.  
Ozone : 1992 Monthly Means as a Fonction of the Site.

peut affirmer que les mesures destinées à diminuer les émissions sur le plan suisse en général sont aussi judicieuses qu'efficaces. Les calculs obtenus par modélisation ont montré que lors d'une réduction des émissions des NO<sub>x</sub>, on constatait pour les zones rurales une diminution plus importante des valeurs de pointe calculées pour l'ozone que lors d'une réduction analogue des émissions de COV [5]. D'une manière générale, la chute la plus importante des valeurs de l'ozone est intervenue lors de la réduction combinée de ces deux polluants précurseurs.

D'autres études européennes parviennent à des conclusions analogues. Elles montrent cependant en plus qu'il demeure de notables différences entre les pays pour ce qui concerne le choix de la stratégie de réduction la plus efficace. Selon ces études effectuées sur l'ensemble de l'Europe, reportées sur la situation de la Suisse, c'est également la combinaison d'une réduction des COV avec celle des NO<sub>x</sub>, qui conduit à la diminution la plus importante de la charge due à l'ozone [6].

## Bibliographique

- [1] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) : NABEL. La pollution de l'air 1922. *Cahier de l'environnement*, n° 207, Berne, 1993.
- [2] Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) : Valeurs d'immissions mesurées en 1992. *Documents environnement* n° 1, Berne, 1993.
- [3] Commission fédérale de l'hygiène de l'air : l'ozone en Suisse. OFEFP, *Cahier de l'environnement*, n° 101, Berne, 1989.
- [4] National Research Council : Rethinking the ozone problem in urban and regional air pollution. *National Academy Press*, Washington, D.C., 1991.
- [5] Communiqué de presse : Que nous a appris jusqu'à présent le programme « POLLUMET » de recherche sur l'environnement ? août 1992.
- [6] SIMPSON P. : Long period modelling of photochemical oxidants in Europe. EMEP/MSC-W Report 2/91.

# On nous demande de faire savoir

## ADEME

Délégation Régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur,  
141, avenue du Prado, 13417 Marseille Cedex 08.  
Tél. : 91 78 91 85. Fax : 91 80 30 85.

## Énergie - Environnement

L'Ademe (Délégation Régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur) vient d'éditer une plaquette sur l'opération

d'incinération de pneus usagés à la Cimenterie Lafarge de la Malle (Bouches-du-Rhône) : première en France, cette opération permet à l'industriel de réaliser des économies d'énergie, et à la collectivité de résoudre un problème d'environnement par le recyclage complet de déchets encombrants et dangereux.

Vous pouvez vous procurer cette plaquette auprès de l'Ademe à Marseille. Tél. : 91 78 91 85. Fax : 91 80 30 85 (Nicole DELEUIL).