

Mesure de SO₂ à La Plata, Argentine

Mario E. ROSATO*, Jorge Reyna ALMANDOS*#, Gustavo RATTO#, Alberto FLORES**, Victor SACCHETTO*, Vilma G. ROSATO*, Jorge L. RIPOLI*, Juan C. ALBERINO*, Juan C. RAGAINI*

L'objectif principal de cette étude est de mesurer, en permanence, la concentration de SO₂ dans l'air au voisinage du pôle pétrochimique de La Plata afin de connaître l'état de contamination de l'atmosphère dû à ce composant et son évolution à travers le temps.

Dans ce travail, sont présentées des généralités sur la pollution chimique de l'atmosphère, puis sont décrites les méthodes les plus utilisées actuellement pour la détection et le monitoring des gaz, ainsi que les fondements de l'application de techniques spectroscopiques pour la mesure de polluants.

L'équipement employé pour mesurer le dioxyde de soufre, le site de prélèvement des échantillons et les caractéristiques de la zone sont précisés. La méthode employée et les progrès accomplis depuis 1996 sont exposés.

Les mesures de SO₂ pendant les années 96, 97 et 98 fournissent des données considérées comme faibles (0,003, 0,015 ppm). Les valeurs journalières et mensuelles diffèrent très peu entre elles d'une année sur l'autre, celle de l'année 1997 étant la plus basse.

Les données enregistrées en 1999 et jusqu'à octobre 2000 montrent des valeurs journalières et mensuelles légèrement supérieures à celles des trois années précédentes, avec un plus grand nombre de valeurs élevées et une légère tendance ascendante.

Jusqu'en 1999 les valeurs maximales n'ont pas dépassé les limites indiquées par la législation en vigueur dans la zone ; en revanche entre janvier et octobre 2000, une des valeurs enregistrées (0,608 ppm) a dépassé largement ces limites, constituant la plus élevée des valeurs mesurées pendant près de cinq années de monitoring.

L'objectif principal de cette étude est de mesurer, de manière systématique, la concentration de dioxyde de soufre (SO₂) dans l'air aux environs du pôle pétrochimique de La Plata afin de connaître le niveau de contamination de l'atmosphère dû à ce composant et son évolution à travers le temps, en comparant les résultats avec ceux obtenus au cours des années précédentes. Le mesurage est réalisé en temps réel, au moyen de techniques optiques.

Parmi les objectifs secondaires figure la création de bases de données ayant des applications multiples, par exemple : les développements scientifiques et technologiques de différentes disciplines visant à résoudre des problèmes liés à la pollution de l'air tels que la santé des habitants et la perte de biens due à la corrosion ; les aspects légaux (sanction, modification et application des lois).

Ces bases de données serviront aussi à établir un futur réseau de monitoring permanent dans la région et à aider à la formation de ressources humaines et au transfert de connaissances et d'information, aussi bien au niveau scientifique que général.

Jusqu'à la fin de 1995, on n'effectuait, dans la région, ni la mesure de SO₂ ni celle d'autres contaminants dans l'air en temps réel en continu ; les mesures n'étaient réalisées qu'avec d'autres méthodes (chimiques) sans aucune périodicité, ce qui ne permettait pas d'apprécier les fluctuations ponctuelles de la concentration.

* UTN – Facultad Regional La Plata Calle 60 esq. 124 – (1900) La Plata – Fax 0054 221 482 3155.

E-mail : mrosato@frlp.utn.edu.ar

CIOp (Centro de investigaciones Ópticas) C.C. 124 – (1900) La Plata - Fax 0054 221 471 2771.

E-mail : postmaster@ciop.edu.ar

** UBA – Depto. Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. – Pab. II - Ciudad Universitaria - 1428 Bs. As.

E-mail : flores@at.fcen.uba.ar

Introduction

La pollution atmosphérique peut se définir comme la présence dans l'air de substances abiotiques ou biotiques (à l'état gazeux, liquide, solide ou combiné) ou de formes d'énergie (rayonnements, bruit, etc.) en quantité et en temps suffisants pour provoquer des dommages sur la santé de l'homme, sur les biens d'usage ou sur l'environnement.

En appliquant cette définition à une zone déterminée on peut observer qu'elle reste conditionnée par :

- les sources d'émission des contaminants ;
- les conditions météorologiques qui déterminent la dispersion de ces contaminants ;
- les récepteurs animés ou inanimés sur lesquels les polluants provoquent des altérations et des effets.

Tous les polluants chimiques de l'air émis par des sources ponctuelles et diffuses commencent leur cycle de permanence dans l'air par l'émission, qui est suivie du transport et de la diffusion dans l'atmosphère. Le cycle se complète quand les contaminants, qui peuvent ou non se transformer, se déposent sur la végétation, les animaux, la surface du sol et de l'eau, quand ils sont entraînés par la pluie ou s'échappent dans l'espace. Dans certains cas les contaminants déposés peuvent se réintroduire dans l'atmosphère sous l'action du vent. Les paramètres météorologiques locaux jouent un rôle très important dans la contamination de l'air.

Les polluants chimiques les plus étudiés sont SO_2 , NO_x (NO , NO_2), HC , COV , CO , CO_2 , O_3 , ClH , les particules, etc. Pour plus de détails concernant l'origine et les effets de ces composants sur l'environnement, on peut se reporter aux références bibliographiques spécialisées et à celles citées à la fin de ce document.

La prise de conscience de la contamination atmosphérique comme un phénomène global, planétaire, et sa prise en compte dans les systèmes normatifs a conduit à l'amélioration ou à la substitution de processus, et au développement de méthodes de détection plus efficaces.

Méthodes de détection

L'atmosphère a une constitution chimique complexe ; à cette complexité s'ajoute la variation des conditions météorologiques suivant le lieu et le temps. De ce fait, la définition d'une méthode couvrant tous les besoins constitue un véritable défi.

D'après M. A. Sigrist, une bonne technique de détection doit remplir les exigences suivantes à un degré qui dépend du cas particulier :

- possibilité de détection d'un grand nombre de composés avec un même instrument ;

- grande sensibilité pour permettre la détection de faibles concentrations ;

- grande sélectivité pour établir les différences parmi les composants dans des mélanges multicomposants complexes ;

- gamme de concentrations étendue permettant la mesure de faibles et fortes concentrations avec un même appareil ;

- bonne résolution temporelle pour travailler "on line" ;

- transport facile pour permettre la réalisation de la mesure in situ.

Les différentes techniques de monitoring peuvent être groupées de diverses manières, par exemple selon la méthode d'échantillonnage ou la méthode analytique employée.

Avec la première méthode, l'échantillonnage d'air peut se faire selon un procédé extractif ou selon un procédé non extractif.

Les méthodes extractives sont fondées sur la collecte de l'échantillon d'air dans un récipient adéquat, puis son analyse au laboratoire. Elles ont l'avantage de permettre d'analyser l'échantillon avec une grande sensibilité et une grande sélectivité, mais elles mettent en péril sa représentativité et ne permettent ni monitoring en temps réel ni monitoring en continu.

Les méthodes non extractives peuvent s'utiliser en analysant l'échantillon prélevé, au moment même in situ, ou au moyen d'un dispositif éloigné dans lequel l'analyse est effectuée à une distance considérable de l'endroit où est prélevé l'échantillon. Dans les deux cas on a l'avantage de travailler en temps réel, bien qu'on puisse perdre un peu de sensibilité ou de sélectivité par rapport aux techniques extractives.

Pour les dispositifs utilisant une portion considérable d'air, les mesures dépendent fortement des conditions de dispersion atmosphérique.

Selon la méthode analytique employée, les techniques de monitoring peuvent être groupées en spectroscopiques et non spectroscopiques.

Il existe une grande variété de techniques non spectroscopiques pour le mesurage de contaminants de l'air : chromatographie gazeuse (CG, de très bonnes sensibilité et sélectivité), spectrométrie de masse (de bonnes sensibilité et sélectivité), coulombimétrie (bonne sensibilité), colorimétrie (bonne sensibilité), conductivité électrolytique (bonne sensibilité), chimioluminescence (bonne sensibilité), détection thermique, etc.

La chromatographie gazeuse combinée à un détecteur d'ionisation de flamme (FID) ou à une spectroscopie de masse (MS) est un outil très puissant pour le monitoring des polluants de l'air.

À l'exception de la chromatographie gazeuse, les autres méthodes non spectroscopiques ne sont appropriées, en pratique, que pour la détection d'une espèce simple.

Techniques spectroscopiques

Si on analyse le rayonnement émis par une source lumineuse déterminée, on observe que le spectre obtenu est caractéristique des atomes ou des molécules excités pour produire la décharge lumineuse. Dans le cas des spectres atomiques, on observe un spectre de lignes. Dans le cas des spectres moléculaires, les lignes sont groupées en constituant des bandes (spectre de bandes) ou, comme dans le cas des solides, un spectre continu. Selon le spectre obtenu et après une étude appropriée, on peut obtenir des informations sur les niveaux d'énergie du milieu excité (échantillon), sur la température, la pression, la densité électronique, ainsi que d'autres grandeurs physiques qui renseignent sur la structure intime des atomes ou des molécules étudiés.

La spectroscopie est une méthode d'analyse physique par interaction avec le rayonnement électromagnétique ou l'émission de particules.

En ce qui concerne le rang de fréquences du spectre et les techniques employées, on peut faire le classement suivant :

- spectroscopie d'électrons internes (spectroscopie de rayons X, de photons électrons, d'électrons Auger) ;
- spectroscopie optique (spectroscopie atomique, spectroscopie moléculaire, spectroscopie Raman) ;
- spectroscopie de radiofréquence ;
- spectroscopie laser ;
- autres (nucléaire, etc.).

Le choix de la technique spectroscopique est fondamentalement déterminé par le rang d'énergie où opère le phénomène à étudier.

Les rangs du spectre électromagnétique qui présentent de l'intérêt en spectroscopie atomique et moléculaire apparaissent dans la figure 1.

Les paramètres les plus utilisés en spectroscopie sont $\Delta E = h \nu$ (énergie), $\lambda = c/\nu$ (longueur d'onde), $1/\lambda$ (numéro d'onde), $\nu = c (1/\lambda)$ (fréquence), h étant la constante de Planck et c la vitesse de la lumière dans le vide. Les unités choisies pour chaque paramètre dépendent de la région du spectre de travail.

La spectroscopie optique trouve son champ d'application dans la détermination de la structure générale de niveaux d'énergie et d'autres paramètres physiques aux rangs correspondant à l'ultraviolet (UV), au visible, à l'infrarouge (IR). Plusieurs méthodes utilisant la spectroscopie optique s'appliquent à l'analyse chimique et se basent sur l'interaction entre la lumière provenant d'une source (UV, visible, IR) et la matière à analyser. Les longueurs d'onde où ont lieu les interactions sont caractéristiques pour chaque substance et ceci constitue la base de l'analyse qualitative utilisant une lumière. Les intensités impliquées sont en rapport avec chacune des concentrations des substances en particulier, ce qui permet l'analyse quantitative.

La base de l'équipement employé en spectroscopie est constituée d'une source de rayonnement, d'un analyseur et d'un système de détection.

Selon les éléments utilisés pour sélectionner les longueurs d'onde, les méthodes peuvent être classées en dispersives et non dispersives.

Les premières utilisent la dispersion de la lumière provenant de l'échantillon analysé, à l'aide d'un balayage au rang de fréquences programmé. L'élément qui disperse la lumière peut être un

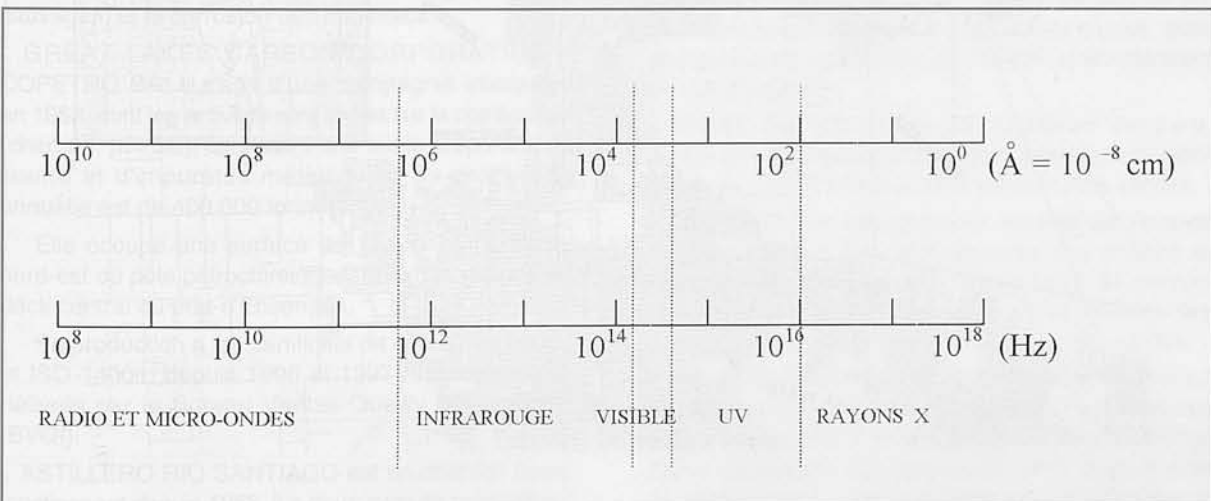


Figure 1.

Rangs du spectre électromagnétique qui présentent de l'intérêt en spectroscopie atomique et moléculaire.

prisme, un réseau de diffraction, une combinaison des deux ou un interféromètre.

Les méthodes non dispersives utilisent des filtres qui sélectionnent une bande de longueurs d'onde. Le filtre fonctionne par absorption ou par interférence.

Sites de prélèvement des échantillons

Après une série de mesures préalables en différents endroits de La Plata et de Berisso, la Faculté régionale de La Plata, de l'Université technologique nationale, située au coin des 65^e et 126^e rues, a été choisie comme site de prélèvement d'échantillons en raison de sa proximité de la zone d'étude (sources de pollutions industrielles et automobiles) et de la disponibilité de toute l'infrastructure nécessaire au fonctionnement normal de l'équipement de mesurage.

Caractéristiques de la zone

La figure 2 montre une carte de la région, qui comprend les villes de La Plata, Berisso et Ensenada, la zone industrielle (rayures), pôle pétrochimique inclus, et les lieux de prélèvement des échantillons.

La Faculté régionale de La Plata est au nord-est de la ville de La Plata ; elle en est séparée par une zone boisée large de 1 000 mètres environ. Au nord-

est et à l'est se trouve la côte du Rio de La Plata qui forme un estuaire large de 35 km. L'effet miroir des eaux est important parce qu'il est modérateur des températures, en particulier lorsque s'ajoutent les vents de ce secteur.

L'altitude par rapport au niveau de la mer est de 10 mètres, la ville atteint les 20 mètres, la pente de la zone est de quelque 10 mètres par kilomètre, dans le sens nord-sud. Dans le sens est-ouest, elle ne dépasse pas 5 mètres par kilomètre.

Le climat est considéré comme tempéré humide, selon la classification de Koeppen. L'endroit est soumis aux conditions du microclimat local pouvant agir sur la dispersion atmosphérique.

D'après la statistique n° 36 du Servicio Meteorológico Nacional, les conditions météorologiques peuvent être résumées ainsi :

- l'humidité dans l'atmosphère est élevée (moyenne 76 %), avec un maximum de 85 % durant les mois d'hiver et un minimum de 68 % au mois de janvier (été) ;
- il est fréquent que pendant l'automne et l'hiver il y ait du brouillard dans la zone, avec des inversions thermiques qui contribuent à une basse dispersion dans l'atmosphère ;
- les vents, en général doux, ont une vitesse annuelle moyenne de 4 km/h ; en automne ils sont légèrement plus faibles (3 km/h). Les directions du vent, par ordre de fréquence décroissante, sont :

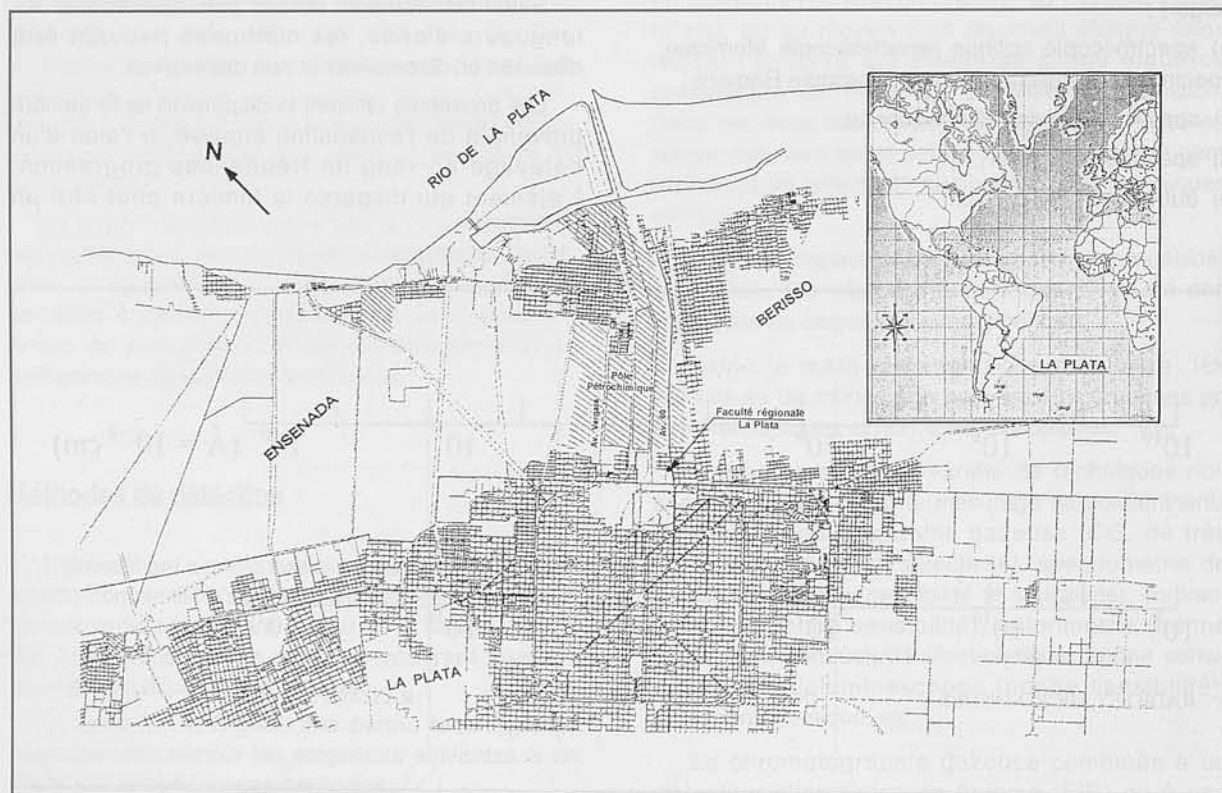


Figure 2.
Carte de la région

– nord, ouest, sud-est, sud-ouest, nord-ouest, sud, nord-est, et est ; près de la moitié de l'année, la situation, en ce qui concerne le vent, est calme ;

– les pluies ne sont pas trop nombreuses ; la moyenne annuelle des précipitations est de 836 mm environ, celle du mois de février est la plus élevée, celle de juillet la plus basse ;

– la température maximale annuelle moyenne est de 20,6 °C avec une maximale absolue de 39 °C. La température minimale annuelle moyenne est de 7,9 °C avec une minimale absolue de – 7,7 °C ;

– la pression atmosphérique moyenne annuelle est de 985,6 hPa.

On pourrait conclure qu'il s'agit d'une zone où sont en général réunies des conditions favorisant la concentration des polluants.

Les sources d'émission

Sources fixes

La plupart des sources fixes d'émission proviennent du parc industriel et, dans une proportion moindre, des habitations voisines.

Le résumé des données qui suivent provient des documents commerciaux des entreprises de la zone. On ne donne pas de valeurs d'émission car ces données sont déclarées confidentiellement au Secretaría de Política Ambiental, l'autorité de contrôle de la région.

- PROSUL SA. Dans l'extrême est du pôle pétrochimique, vers la ville de Berisso, séparée de celle-ci par la 60^e rue, on trouve l'ancienne Fábrica de Acido Sulfúrico, qui appartenait auparavant à la Dirección de Fabricaciones Militares et qui fut privatisée en 1994. Employant une technologie démodée, elle est inactive depuis 1995.

En activité, elle représentait la plus grande source de pollution de SO₂ de la région, occasionnant des problèmes respiratoires aux voisins, des dommages aux plantes et aux animaux tant domestiques que sauvages, et la corrosion des matériaux.

- GREAT LAKES CARBON CORPORATION – COPETRO SA. Il s'agit d'une compagnie inaugurée en 1983, dont les activités sont axées sur la combustion (charbon, pétrole), contenant une faible proportion de soufre et d'impuretés métalliques. Sa production annuelle est de 400 000 tonnes.

Elle occupe une surface de 11,5 ha à l'extrême nord-est du pôle pétrochimique, sur la rive gauche du dock central du port d'Ensenada.

Sa production a les certificats de qualité ISO 9002 et ISO 14001, depuis 1996 et 1997 respectivement, délivrés par le Bureau Veritas Quality International (BVQI).

- ASTILLERO RIO SANTIAGO est un chantier naval fonctionnant depuis 1953. Il a deux axes de production : les constructions et réparations navales, et les constructions métalliques.

Il est placé à l'extrême nord du pôle industriel, sur la rive droite de la rivière Santiago, avec une sortie vers le fleuve de La Plata.

La capacité de production de l'axe « construction navale » est de 40 000 tonnes d'acier par an. On y construit des bateaux marchands maritimes et fluviaux jusqu'à 80 000 tonnes, des installations off-shore, toutes sortes de plates-formes, et des navires (destroyers...).

Le département de constructions métalliques fabrique de grosses pièces, des turbines hydrauliques, de grands moteurs pour des bateaux, des grues, et des composants pour les centrales nucléaires.

- REFINERIA REPSOL YPF. Cette raffinerie de pétrole a commencé son activité en 1925, comme entreprise d'État, avec une capacité de traitement de pétrole de 1 800 m³/j.

La raffinerie a une surface de 340 ha et elle est placée dans le Partido de Ensenada, à 9 km à l'est du centre-ville de La Plata, au cœur du pôle pétrochimique.

Elle est délimitée à l'est par la prolongation de la 60^e avenue (route provinciale 10) qui la sépare du Partido de Berisso, et à l'ouest par l'avenue Vergara (route provinciale 215) qui relie La Plata à Ensenada.

- À présent, grâce aux programmes de transformation, de restructuration et de privatisation commencés à partir de 1990, les hauts niveaux d'efficacité de production et la rénovation technologique des traitements industriels permettent une capacité de production de 28 000 m³/j de pétrole, ce qui en fait la principale source de provision de carburants de l'Argentine.

L'application des nouvelles technologies lui a permis d'obtenir les certificats de qualité ISO 9002 et ISO 14 001, en 1997 et 1998 respectivement, délivrés par le Bureau Veritas Quality International.

- EDESUR est située sur l'avenue Vergara, au voisinage d'IPAKO SA. Cette centrale électrique possède six groupes électrogènes de pointe qui marchent indistinctement au gaz ou au gazole, avec une puissance individuelle de 15 MW, et fonctionnent en cas d'urgence.

- IPAKO SA est située sur l'avenue Vergara, au km 2,0, à Ensenada. Elle était destinée à la fabrication de polyéthylène et est à présent hors service.

- PETROKEN est une entreprise installée sur l'avenue Vergara, au km 2,5, à Ensenada, qui produit et commercialise du propylène depuis 1992. Sa production est de 170 000 tonnes par an. Elle possède des certificats de qualité BVQI ISO 9001 et ISO 14 001.

- PETROQUIMICA LA PLATA (Groupe REPSOL) est située, dans la ville d'Ensenada, sur l'avenue Vergara, au km 2,7, et occupe une surface de 60 ha. Elle a commencé son activité en 1970 sous le nom de Petroquímica General Mosconi SA. Elle devait couvrir les besoins du pays pour tout ce qui concernait les produits plastifiants, gommes, résines, fibres

synthétiques et détergents. À présent, Petroquímica La Plata est un complexe industriel axé sur la production d'hydrocarbures aromatiques et de dérivés des oléfines.

Le complexe d'aromatiques produit 350 000 tonnes par an, le complexe des oléfines 140 000 tonnes par an, et celui des bases octaniques atteint 100 000 tonnes par an.

Cette entreprise possède des certificats de qualité BVQI ISO 9002 et ISO 14 001.

- MALEIC (Groupe REPSOL) est installée sur l'avenue Vergara, au km 5,0, à Ensenada. Elle occupe une surface de 5,52 ha. Depuis 1978 cette usine produit et commercialise de l'anhydride maléique, avec une capacité de production de 17 000 tonnes par an.

- POLIBUTENOS (Groupe REPSOL) est située sur l'avenue Vergara, au km 5,6, à Ensenada, et occupe une surface de 9,6 ha. Cette entreprise produit et commercialise des polybutènes, avec une capacité de production de 20 000 tonnes par an.

Elle possède des certificats de qualité BVQI – BS et ISO 9002 et ISO 14 001 depuis 1994.

- SIDERAR occupe 800 ha, dont 200 sont couverts, à 4 km au nord-ouest de la ville d'Ensenada, sur l'avenue Almirante Brown.

Depuis 1969 on y produit 1 000 000 tonnes par an d'acier laminé à froid.

Le transport des matériaux et de la production de l'entreprise se fait par terre ou par son port privé sur le fleuve de La Plata.

Cette usine possède des certifications DNV ISO 9001 et BVQI ISO 14 001, depuis 1997 et 1999 respectivement.

Sources mobiles

Dans la région, les sources mobiles sont représentées par toutes sortes de véhicules automobiles.

D'après le dénombrement automatique fait en mai 2000 par la Sub-Gerencia de Planificación Vial appartenant à la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires, la circulation des véhicules dans la zone était estimée ainsi :

- 60^e rue, vers Berisso (du 08-05-2000 au 17-05-2000)
moyenne de paires d'essieux par jour ouvrable : 14 635 ;

moyenne de paires d'essieux par jour chômé : 12 298 ;

densité maximale de circulation les jours ouvrables : de 8 h 00 à 9 h 00 et de 17 h 00 à 19 h 00.

- 60^e rue, vers La Plata (du 08-05-2000 au 17-05-2000) :

moyenne de paires d'essieux par jour ouvrable : 14 478 ;

moyenne de paires d'essieux par jour chômé : 12 454 ;

densité maximale de circulation les jours ouvrables : de 13 h 00 à 14 h 00 et de 17 h 00 à 20 h 00.

- Avenue Vergara, dans les deux sens (du 03-05-2000 au 11-05-2000)

moyenne de paires d'essieux par jour ouvrable : 13 169 ;

moyenne de paires d'essieux par jour chômé : 8 307 ;

densité maximale de circulation les jours ouvrables : de 9 h 00 à 10 h 00 et de 17 h 00 à 19 h 00.

Nombre d'habitants de la région

Selon le dernier recensement de l'INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) publié par la Dirección Provincial de Estadísticas y Planificación de la Provincia de Buenos Aires en l'an 2000 la population compte :

- dans ville de La Plata : 602 000 habitants ;

- dans ville de Berisso : 83 000 habitants ;

- dans ville d'Ensenada : 55 000 habitants.

Mesure de SO₂

La mesure de SO₂ se fait au moyen d'un analyseur placé à la Faculté régionale de La Plata, qui peut travailler en continu ou en discontinu selon le programme choisi.

Équipement utilisé pour le monitoring du SO₂

Principes de fonctionnement

L'analyseur employé est un équipement Lear Siegler modèle ML 9850 à spectroscopie optique d'émission et méthode non dispersive. Il se fonde sur les principes de la spectroscopie de fluorescence classique et est conçu pour le monitoring continu de SO₂ dans l'air ambiant.

Le SO₂ absorbe fortement entre 200 et 240 nm (2 000-2 400 Å). L'absorption de photons à ce rang a pour résultat l'émission de fluorescence entre 300 et 400 nm, et la quantité de fluorescence émise est directement proportionnelle à la concentration de SO₂.

On utilise le rayonnement ultraviolet provenant d'une lampe de décharge de Zn, en le faisant passer à travers un filtre de $\lambda = 213,9$ nm. Ce rayonnement est dirigé vers la cellule de fluorescence où il réagit avec les molécules de SO₂ de l'échantillon d'air. On obtient une émission uniforme de fluorescence émise en tous sens. Une partie de cette fluorescence est dirigée vers un tube photomultiplicateur en passant à travers le filtre ($\lambda = 350$ nm).

Un détecteur de référence effectue le monitoring de l'émission de la lampe et est utilisé pour en corriger les fluctuations temporaires.

La figure 3, p. 91, montre un schéma simplifié de l'équipement.

Caractéristiques de l'équipement

L'équipement est composé de deux modules. Le premier contient une source d'énergie, un régulateur de voltage et un microprocesseur. Le deuxième, ou module capteur-senseur, comprend une partie pneumatique (pompe, filtre, dispositif de déclenchement, épurateur de charbon et module de contrôle de flux), une partie optique (lampe UV, filtres de bande, etc.) et une partie électronique (détecteur de référence, préprocesseur, etc.).

L'équipement a aussi un logiciel en mémoire ROM pour écarter la possibilité de dommages et de défauts du système. Ce logiciel permet de reprogrammer l'équipement. Celui-ci peut de plus être branché à une unité centrale pour le traitement des données.

La précision dans la mesure du SO_2 est de 0,5 ppb ou 1 % de l'échelle complète. L'analyseur travaille entre des températures de 5 °C et 40 °C et d'après les normes USEPA de 15 °C à 35 °C.

L'équipement opère en continu. Pour travailler, on peut démarrer et arrêter l'équipement manuellement ou à l'aide d'un programme ; dans ce cas, on peut effectuer l'échantillonnage de l'air pendant plus de 15 jours et emmagasiner toute l'information sur disquette.

Méthode

Après la mise au point de l'équipement de mesure et après une période d'épreuve pendant les derniers mois de 1995, les mesures en continu ont commencé à partir de 1996. L'équipement de mesure a été programmé pour effectuer le monitoring toutes les 15 secondes.

La méthode de travail utilisée de 1996 à 1998 a comporté : une opération manuelle avec des enregistrements en continu pendant cinq heures par jour, du lundi au vendredi, à partir desquels on obtient les moyennes arithmétiques des concentrations mesurées chaque jour et des maximums remarquables. Par l'addition des moyennes arithmétiques journalières divisée par le nombre de jours de mesure de chaque mois, on détermine une valeur mensuelle. Bien que cette méthode ne soit pas idéale, elle constitue la seule façon de garder en bon fonctionnement, pendant plus longtemps, le seul équipement disponible.

À partir d'octobre 1998, un équipement informatique et une station météorologique pour le monitoring en continu des paramètres météorologiques ont été installés, et un système permettant de programmer les mesures à des heures et des périodes choisies a été incorporé.

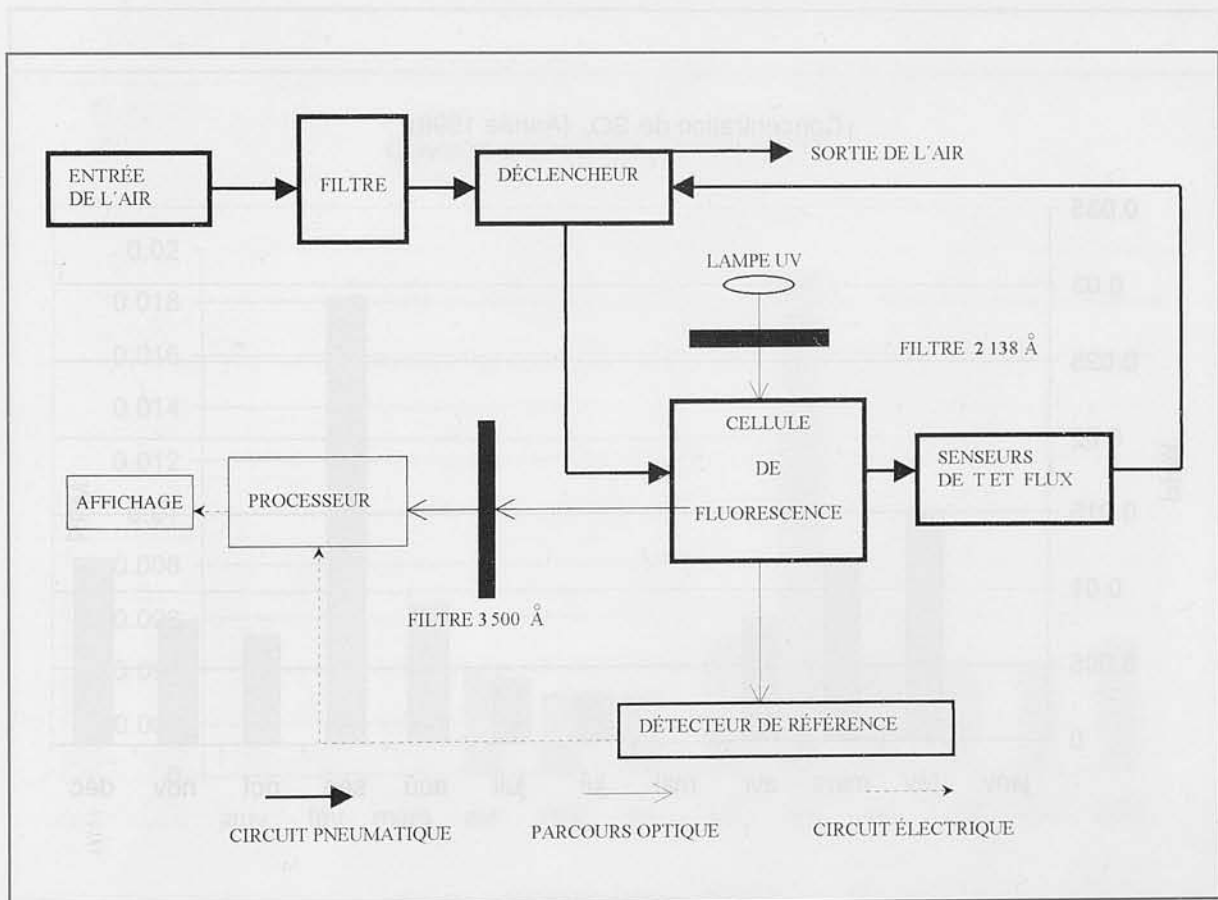


Figure 3.
Schéma simplifié de l'équipement.

L'équipement est calibré périodiquement suivant les instructions du fabricant. On réalise en outre des mesures simultanées par la méthode chimique à pararosaniline.

On continue à obtenir des données en se servant de cette méthode de travail.

Résultats

Les figures 4, 5, 6, 7 et 8 montrent les résultats des mesures des concentrations de SO_2 des années 96, 97, 98, 99, jusqu'à octobre 2000, mois correspondant à l'achèvement de cet article. Dans les tableaux 1, 2, 3, 4 et 5 figurent les pointes remarquables et les conditions météorologiques existant au moment du mesurage.

Les valeurs de référence sont les concentrations maximales permises par les lois en vigueur dans cette région.

La loi 5.965 de la Province de Buenos Aires, de « Protection aux sources d'approvisionnement et aux cours et corps récepteurs d'eau et à l'atmosphère », dans son Décret réglementaire n° 3395/96, Annexe III : « Norme de qualité de l'air, Tableau A », établit pour les contaminants de base les valeurs suivantes pour le SO_2 :

a) valeur ne pouvant être dépassée plus d'une fois par an $1,300 \text{ mg/m}^3$ ($0,50 \text{ ppm}$) pendant un laps de temps de 3 heures ;

b) valeur ne pouvant être dépassée plus d'une fois par an $0,365 \text{ mg/m}^3$ ($0,14 \text{ ppm}$) pendant un laps de temps de 24 heures ;

c) moyenne arithmétique annuelle de $0,080 \text{ mg/m}^3$ ($0,030 \text{ ppm}$) pendant une période d'un an.

Discussion

Rappelons que la mesure de SO_2 a commencé en février 1996. Pendant le mois de mai, l'équipement de mesure a été hors service pour cause d'entretien et d'étalonnage.

Dans la figure 4, on remarque que, tout au long des 10 mois de mesure, les valeurs journalières et mensuelles enregistrées ont été en général basses, à l'exception des valeurs maximales atteintes les 23 août, 6 et 9 septembre, et 16 octobre.

Comme on peut le voir dans le tableau 1, la valeur la plus élevée, $0,410 \text{ ppm}$, a été enregistrée le 6 septembre, à 19 h 21, pendant 52 minutes, par vent de secteur N-NO d'une vitesse de 11 km/h , température : $13,1 \text{ }^\circ\text{C}$ et pression : $1\,017 \text{ hPa}$.

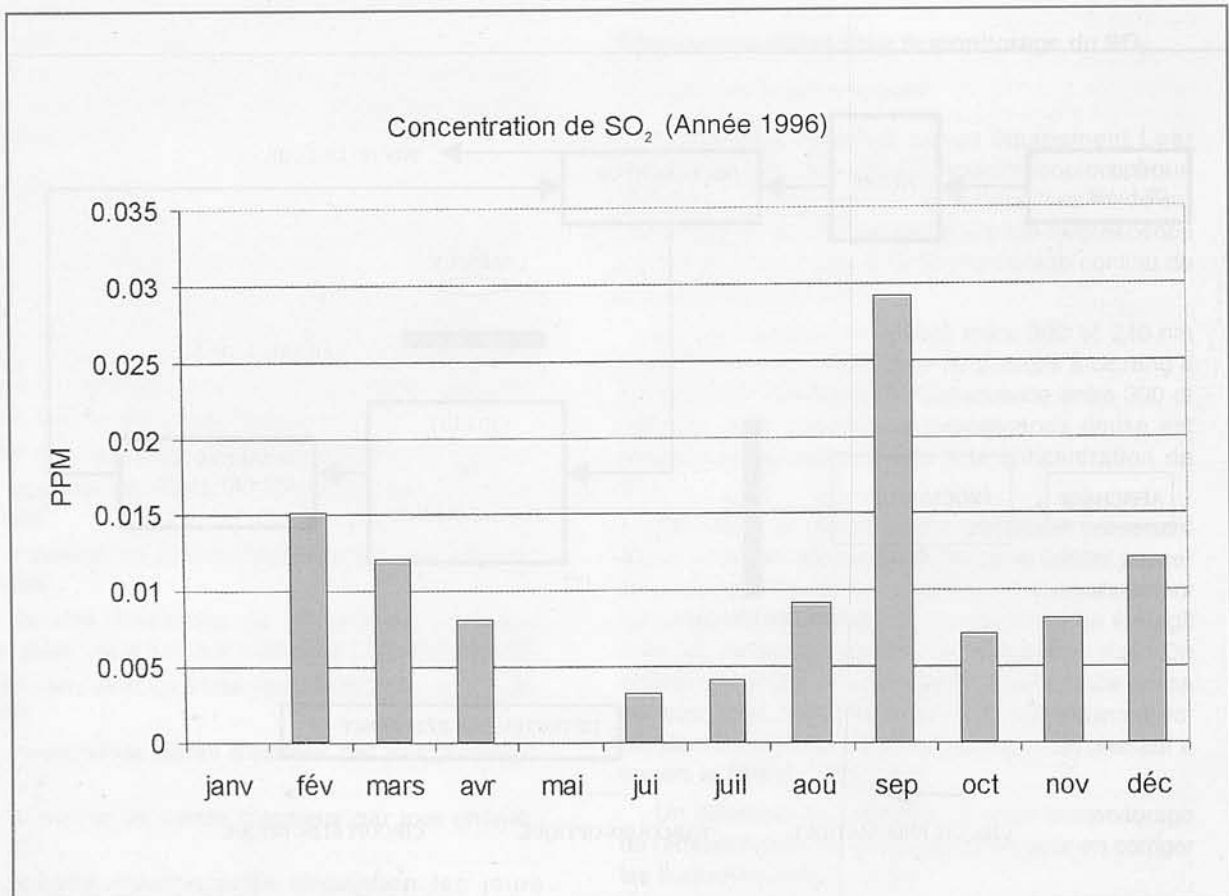


Figure 4.
Concentration de SO_2 (1996).

Tableau 1.
Valeurs maximales de la concentration de SO₂ (1996).

Date	Heure	Durée	Valeur max (ppm)	Vent		Temp (°C)	Pres (hPa)	H (%)
				Dir.	Vit (km/h)			
23-08-96	19 : 00	45 min	0,140	N-NE	15	26,2	1 006	60
06-09-96	19 : 21	52 min	0,410	N-NO	11	13,1	1 017	50
09-09-96	21 : 30	38 min	0,140	N-NO	12	12,1	1 019,5	58
16-10-96	17 : 30	2 h	0,032	NE	14,5	23,3	1 009	59

Dans ce cas, la législation indique que la concentration de SO₂ ne doit pas excéder 0,50 ppm pendant 3 heures une fois par an.

Les trois valeurs restantes sont inférieures à la précédente, 0,140 ppm, en deux occasions, avec des durées de 45 et 38 minutes, et 0,032 ppm pendant deux heures. La loi indique que la concentration de SO₂ ne doit pas dépasser 0,14 ppm pendant 24 heures une fois par an.

Lors des valeurs maximales, les vents dominants

venaient de N-NE, N-NO et N-E. Les autres paramètres météorologiques sont précisés dans le tableau 1.

La figure 5 montre les résultats des mesures réalisées pendant neuf mois en 1997. En janvier, février et mars, les mesures n'ont pas été effectuées afin de permettre la réparation (attente de pièces de rechange), la maintenance et le calibrage de l'équipement.

Les valeurs journalières et mensuelles enregistrées

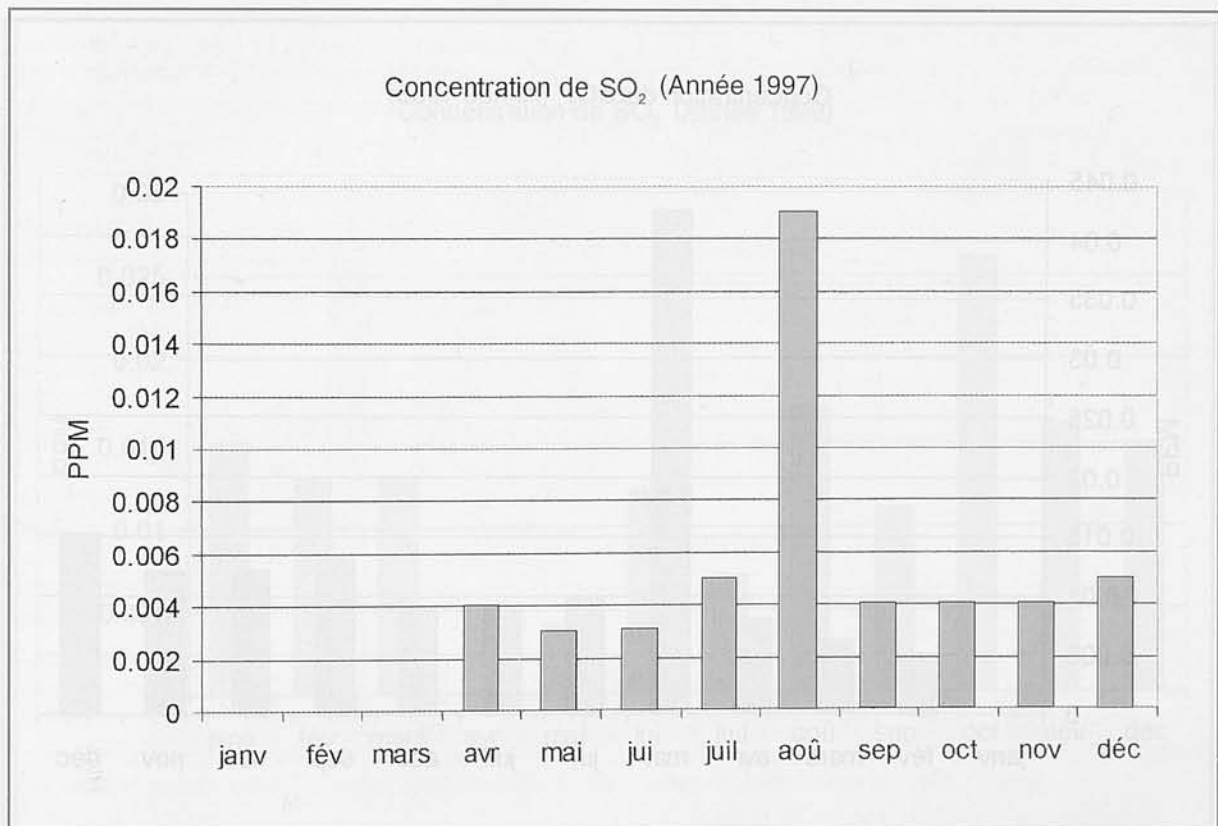


Figure 5.
Concentration de SO₂ (1997).

Tableau 2.
Valeurs maximales de la concentration de SO₂ (1997).

Date	Heure	Durée	Valeur max (ppm)	Vent		Temp (°C)	Pres (hPa)	H (%)
				Dir.	Vit (km/h)			
23-04-97	19 : 00	1 h 20 min	0,035	N-NE	13	23,5	1 007	68
29-08-97	18 : 45	35 min	0,033	N-NE	32/22	23/26	1 013	69
29-08-97	19 : 37	47 min	0,080	N-NE	12,9	17,1	1 003	76

ont été basses : 0,003 à 0,005 ppm, avec un maximum de 0,019 ppm en août (Figure 5).

Dans le tableau 2 on note, le 29 août, deux valeurs importantes : l'une de 0,033 ppm, à 18 h 45, d'une durée de 35 minutes, par vent de secteur N-NE, de vitesse variable, entre 32 et 22 km/h ; l'autre, de 0,080 ppm (le maximum mesuré dans l'année), à 19 h 37, pendant 47 minutes, par vent N-NE à 12,9 km/h. Dans ce cas, les valeurs respectent la loi qui les limite à 0,14 ppm pendant 24 heures une fois par an.

La troisième valeur mesurée et les paramètres météorologiques apparaissent dans le tableau 2.

La figure 6 correspond aux résultats des mesures journalières et mensuelles réalisées pendant 11 mois en 1998. En général, les concentrations de SO₂ enregistrées ont été basses, entre 0,005 et 0,015 ppm, avec un maximum de 0,042 ppm au mois de mai. En janvier, l'entretien et le calibrage de l'équipement ont été effectués.

En 1998, on a enregistré trois valeurs significatives, dont la plus élevée (0,079 ppm) correspond au 7 mai à 19 h 56, d'une durée de 83 minutes, par vent du nord à 9,7 km/h. Dans le tableau 3 figurent les deux autres valeurs et les paramètres météorologiques. Comme pour l'année précédente, les

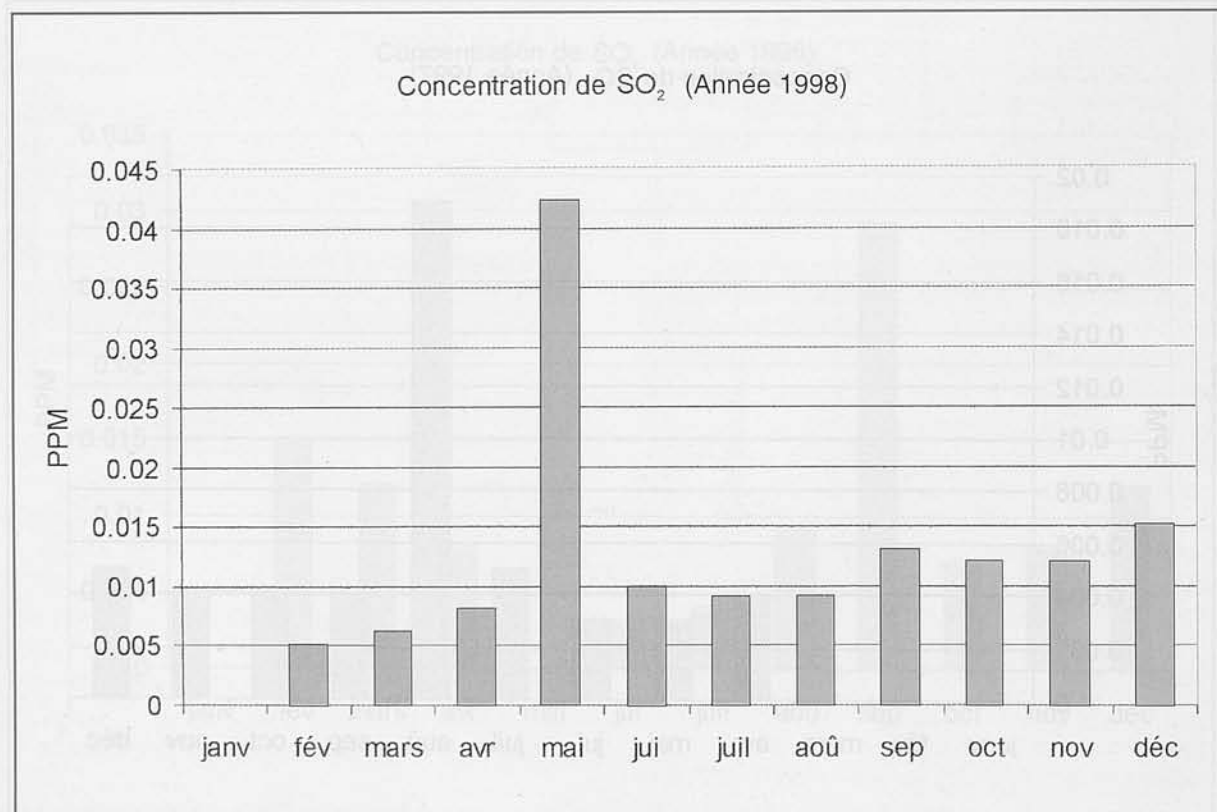


Figure 6.
Concentration de SO₂ (1998).

Tableau 3.
Valeurs maximales de la concentration de SO₂ (1998).

Date	Heure	Durée	Valeur max (ppm)	Vent		Temp (°C)	Pres (hPa)	H (%)
				Dir.	Vit (km/h)			
07-05-98	19 : 56	83 min	0,079	N	9,7	13	1 018	79
04-06-98	19 : 30	50 min	0,037	N-NE	12,9	8,8	1 022	76
05-06-98	16 : 00	65 min	0,050	N-NE	17,7	14,2	1 009	69

valeurs respectent la loi les limitant à 0,14 ppm pendant 24 heures une fois par an.

Dans les mesures réalisées pendant 11 mois en 1999 (Figure 7), on remarque une légère hausse des valeurs journalières et mensuelles par rapport aux années précédentes. Les variations vont de 0,004 à 0,018 ppm, et un maximum de 0,026 ppm survient au mois d'octobre.

En avril, l'entretien et le calibrage de l'équipement ont été réalisés.

Pendant cette année, on a enregistré quatre valeurs remarquables, le 7 janvier à 12 h 18, le

13 juin à 18 h 30, le 8 août à 6 h 38 et le 15 octobre à 12 h 02, comme le montre le tableau 4, p. 96.

La valeur maximale enregistrée cette année là était de 0,295 ppm ; elle s'est produite le 15 octobre à 12 h 02, pendant 3 heures, par vent changeant d'est-sud-est à sud d'une vitesse de 12,9 km/h, température : 16,3 °C, pression normale.

La valeur suivante, de 0,204 ppm, le 8 août à 6 h 38, avait une durée de 2 heures 30 minutes. Le vent de secteur ouest ne soufflait qu'à 6,4 km/h, sous une haute pression de 1 024 hPa et une température très basse de 2,8 °C.

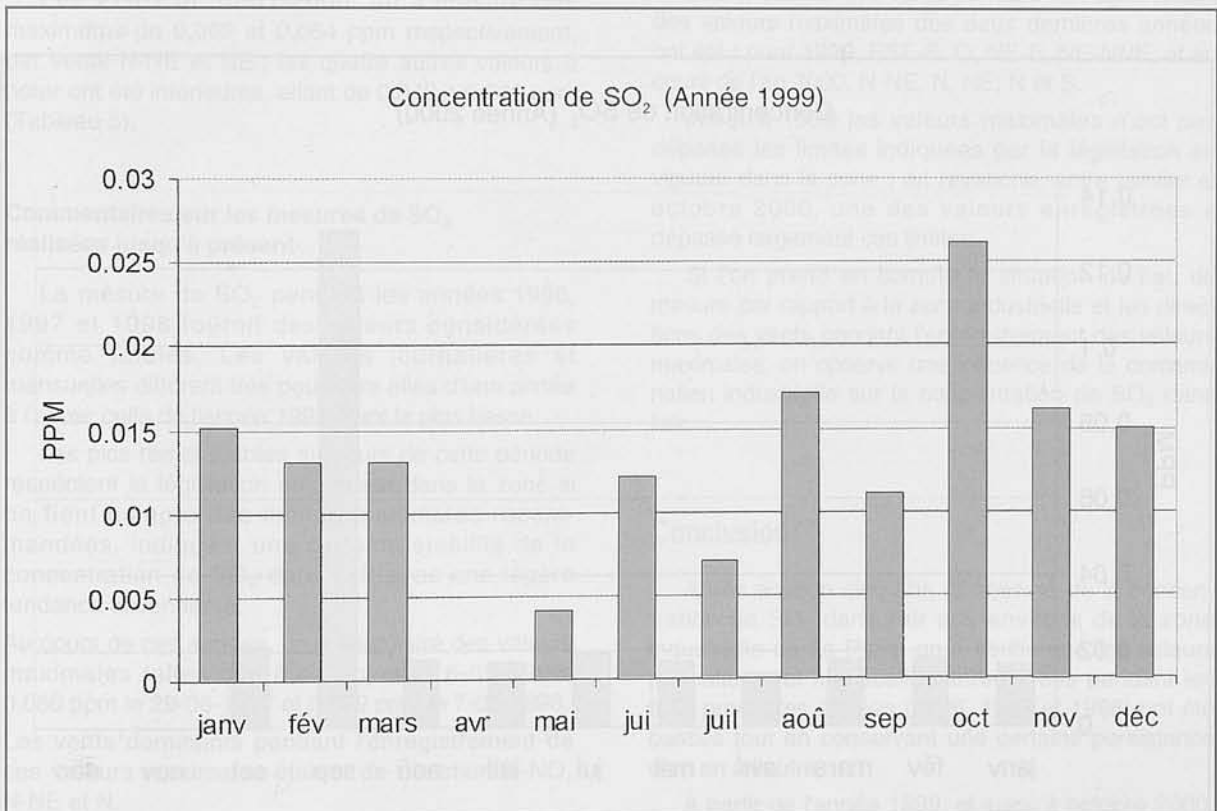


Figure 7.
Concentration de SO₂ (1999).

Tableau 4.
Valeurs maximales de la concentration de SO₂ (1999).

Date	Heure	Durée	Valeur max (ppm)	Vent		Temp (°C)	Pres (hPa)	H (%)
				Dir.	Vit (km/h)			
07-01-99	12 : 18	10 min	0,045	NE-N-NE	13	21,7	1 018	55
13-06-99	18 : 30	1 h 35 min	0,069	NE-E	3,2	10,8	1 022	76
08-08-99	06 : 38	2 h 30 min	0,204	O	6,4	2,8	1 024	75
15-10-99	12 : 02	2 h 50 min	0,295	ESE-S	12,9	16,3	1 011	77

Les deux autres valeurs ont été inférieures.

Dans ces cas la loi indique que les concentrations de SO₂ ne devaient pas dépasser de 0,50 ppm pendant 3 heures une fois par an.

Les valeurs de la concentration en SO₂ relevées en 2000 de janvier à octobre, date de l'achèvement de cet article, apparaissent dans la figure 8. Les variations journalières et mensuelles ont été plus uniformes que celles de l'année 1999, avec des valeurs entre 0,014 et 0,024 ppm, et un maximum de 0,130 ppm en septembre.

Pendant l'année, on a observé des valeurs remar-

quables en huit occasions, celle du 06-09-2000, de 0,608 ppm, étant la plus élevée enregistrée pendant près de cinq ans de monitoring.

Dans le tableau 5, p. 97, figurent les valeurs importantes de l'an 2000 jusqu'au mois d'octobre. On remarque celle du 06-09-2000 à 19 h 27, de 0,608 ppm, d'une durée de 15 heures. Les paramètres météorologiques ont été les suivants : vent variable N-NE à 16 km/h, température : 19 °C, pression de 1 012 hPa, et humidité : 60 %. La législation en vigueur dans la zone établit pour ces cas une valeur ne dépassant pas 0,50 ppm pendant un maximum de 3 heures une

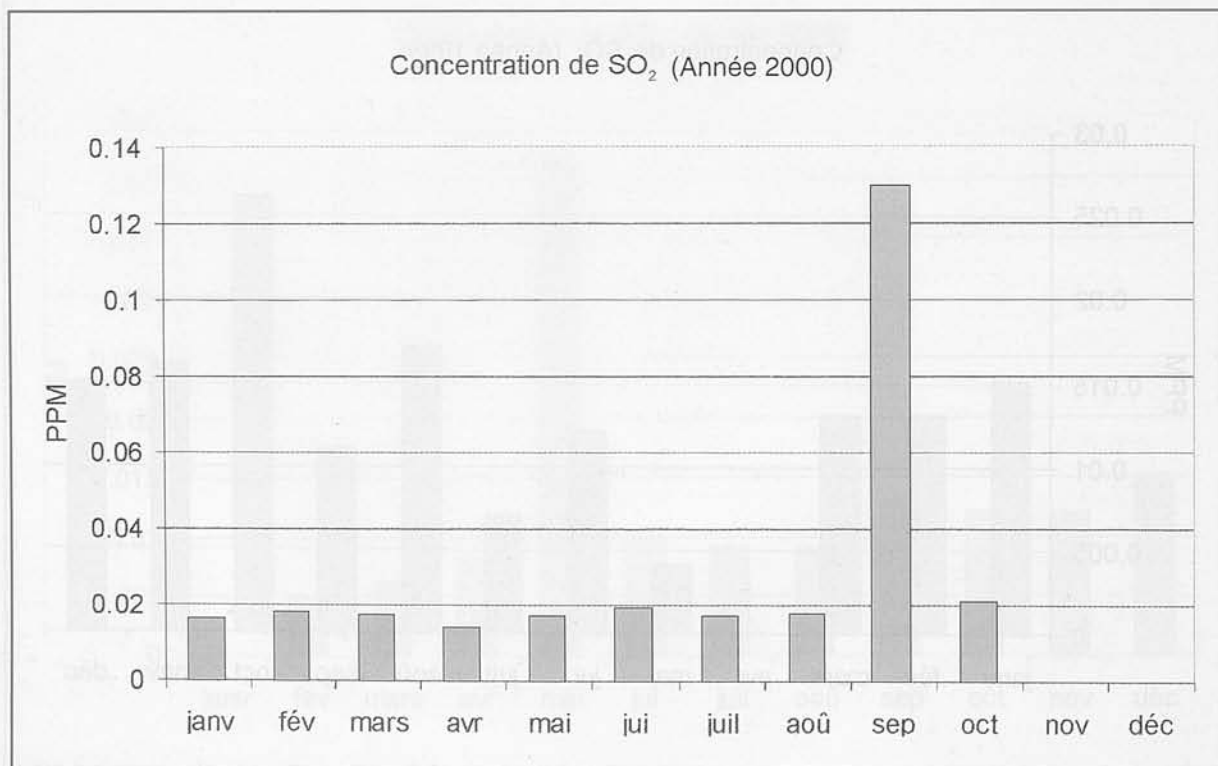


Figure 8.
Concentration de SO₂ (2000).

Tableau 5.
Valeurs maximales de la concentration de SO₂ (2000).

Date	Heure	Durée	Valeur max (ppm)	Vent		Temp (°C)	Pres (hPa)	H (%)
				Dir.	Vit (km/h)			
30-01-00	08 : 00	1 h 30 min	0,064	NE	9	25	1 013,2	59
19-02-00	08 : 45	20 min	0,040	NE	13	22,5	1 021	71
26-02-00	12 : 05	1 h	0,100	N	7	26,7	1 010	72
27-02-00	04 : 39	5 h 30 min	0,069	N-NE	9-22	26,5	1 005	82
18-03-00	06 : 46	3 h	0,049	S	0	13,3	1 016,8	73
02-06-00	22 : 01	3 h	0,041	N	12,5	13,5	1 019,5	75
04-08-00	21 : 14	2 h	0,044	N-NE	19	11,5	1 023,2	54
06-09-00	19 : 27	15 h	0,608	N-NE	16	19	1 012	60

fois par an. On constate que cette fois-ci on a largement dépassé cette exigence aussi bien en valeur qu'en durée.

La valeur remarquable suivante, de 0,100 ppm, a été enregistrée le 26-02-2000 à 12 h 05. Elle a une durée d'une heure, par vent du nord à 7 km/h, température : 26,7 °C, pression : 1 010 hPa, et 72 % d'humidité.

Les 27-02 et 30-01-2000, on a mesuré des maximums de 0,069 et 0,064 ppm respectivement, par vents N-NE et NE ; les quatre autres valeurs à noter ont été inférieures, allant de 0,040 à 0,049 ppm (Tableau 5).

Commentaires sur les mesures de SO₂ réalisées jusqu'à présent

La mesure de SO₂ pendant les années 1996, 1997 et 1998 fournit des valeurs considérées comme faibles. Les valeurs journalières et mensuelles diffèrent très peu entre elles d'une année à l'autre, celle de l'année 1997 étant la plus basse.

Les pics remarquables au cours de cette période respectent la législation en vigueur dans la zone si on tient compte des limites maximales recommandées, indiquant une certaine stabilité de la concentration de SO₂ dans l'air avec une légère tendance ascendante.

Au cours de ces années, on a enregistré des valeurs maximales telles que 0,410 ppm le 6-09-1996, 0,080 ppm le 29-08-1997 et 0,079 ppm le 7-05-1998.

Les vents dominants pendant l'enregistrement de ces valeurs maximales étaient de direction N-NO, N-NE et N.

La mesure de SO₂ pendant l'année 1999 et jusqu'à octobre 2000 montre des valeurs journalières

et mensuelles légèrement supérieures à celles des trois années antérieures avec un plus grand nombre de valeurs élevées, quatre en 1999 et huit en 2000, les plus remarquables étant celle de 0,295 ppm le 15-10-1999 et celle de 0,608 ppm le 06-09-2000. Cette dernière est la plus élevée des valeurs mesurées pendant les cinq années environ de monitoring.

Les directions des vents pendant l'enregistrement des valeurs maximales des deux dernières années ont été : pour 1999, ESE-S, O, NE-E, NE-NNE, et au cours de l'an 2000, N-NE, N, NE, N et S.

Jusqu'à 1999 les valeurs maximales n'ont pas dépassé les limites indiquées par la législation en vigueur dans la zone ; en revanche, entre janvier et octobre 2000, une des valeurs enregistrées a dépassé largement ces limites.

Si l'on prend en compte la situation du lieu de mesure par rapport à la zone industrielle et les directions des vents pendant l'enregistrement des valeurs maximales, on observe une influence de la contamination industrielle sur la concentration de SO₂ dans l'air.

Conclusion

Après environ cinq ans de mesure de la concentration de SO₂ dans l'air aux environs de la zone industrielle de La Plata, on a vérifié que les valeurs journalières et mensuelles enregistrées pendant les trois premières années (1996, 1997 et 1998) ont été basses tout en conservant une certaine persistance d'un an à l'autre.

À partir de l'année 1999, et jusqu'à octobre 2000, on a commencé à observer une faible augmentation des valeurs de SO₂, une tendance à la hausse.

Quant aux valeurs maximales inhabituelles des quatre premières années de mesure, elles n'ont dépassé ni en valeur ni en durée, les limites recommandées par la législation en vigueur dans la région.

Pendant les 10 mois de l'année 2000 pris en considération jusqu'à la conclusion de cet article, on a enregistré une valeur maximale qui a largement dépassé aussi bien en valeur qu'en durée les valeurs maximales établies par la législation en vigueur dans la zone, et on a observé une fréquence supérieure de maximums remarquables.

Si l'on tient compte de l'emplacement de la mesure par rapport à la zone industrielle et de la direction des vents pendant l'enregistrement des valeurs maximales, on observe une influence nette de la contamination industrielle en ce qui concerne la concentration de SO₂ dans l'air.

Face à cette situation, et tenant compte d'une légère augmentation de la concentration de SO₂ dans l'air enregistrée à partir de 1999, on considère

qu'il est souhaitable de faire les prévisions budgétaires nécessaires pour installer un réseau de monitoring ajoutant la mesure d'autres polluants et d'établir des corrélations entre les valeurs mesurées aux différents points d'échantillonnage et les données météorologiques.

On recommande à la population, aux industriels de la zone et en particulier aux autorités de contrôle, de redoubler d'efforts pour, sinon arrêter, au moins réduire les niveaux de pollution de SO₂ et d'autres polluants.

Le recueil des données se poursuit.

Remerciements

Nous remercions pour leur collaboration : Mmes Alicia A. Rozas et Graciela C. Cassini, Professeurs ; M. Oscar P. Serrano, Ingénieur, M. Horacio Genazzini, Chimiste.

Références

- Blackadar AK. Turbulence and diffusion in the atmosphere. Springer-Verlag 1997 : 185.
- del Giorgio JA. Contaminación Atmosférica. Alhambra 1977 : 1-51.
- Documents commerciaux des entreprises de la zone.
- Gassmann M, Mazzeo N. Capacidad de autodepuración de la atmósfera en la República Argentina. Anales del VI Congreso Argentino de Meteorología. Buenos Aires, setiembre de 1991.
- Lear Siegler. Measurement Controls Corporation. Manual de instalación y uso del equipo ML 9800, 1992.
- Ley de la Provincia de Buenos Aires 5965 - Decreto Reglamentario N° 3395/96.
- Mazzeo N, Nicolini M, Muller C, Micheloni R. Algunos aspectos meteorológicos de la contaminación atmosférica en el área de La Plata. Meteorología 1972 ; II : 98.
- Moretton J. Contaminación del aire en la Argentina. Ediciones Universo 1996 : 53- 113.
- Servicio Meteorológico Nacional, Estadísticas Climatológicas 1961-1970. Publicación B1 N° 10. Buenos Aires - 1973.
- Servicio Meteorológico Nacional, Estadística n° 36, Buenos Aires, período 1971/1980, 1986.
- Sigrist MA. Monitoring by Spectroscopic Techniques. John Willey & Sons Inc 1994 : 1-26.
- Svanberg S. Atomic and Molecular Spectroscopy. Springer Verlag 1992 : 131-46.
- Thorne AP. Spectrophysics. Chapman and Hall 1988 : 1-9.
- Wark K, Warner CF. Contaminación del aire. Limusa Grupo Noriega 1990 : 1- 40.