

ARTICLES



Evolution à long terme des dépôts atmosphériques dans plusieurs zones industrialisées et urbaines

Long-term trends of atmospheric bulk deposition in urban and industrialized regions

Erwin ULRICH

RÉSUMÉ

Les dépôts totaux ont été mesurés annuellement en France entre 1968 et 1990 dans plusieurs agglomérations industrielles et urbaines, afin de contrôler l'impact des émissions dispersées. L'évolution des dépôts annuels de K, Ca, Mg, Na, N-NH₃, N-NO₃, S-SO₂, et Cl est étudiée. Les dépôts de Ca (6,6-107,4 kg.ha⁻¹.an⁻¹) et Mg (0,6-89,1 kg.ha⁻¹.an⁻¹) sont environ 1,5 à 4,5 fois plus élevés qu'à la campagne. Ils ont été les plus importants à Clermont-Ferrand, Bordeaux et Paris. Les dépôts de Na (3,3-248,5 kg.ha⁻¹.an⁻¹) et Cl (10,6-492,7 kg.ha⁻¹.an⁻¹) ont été importants surtout à proximité de la côte atlantique (La Rochelle, Bayonne et Bordeaux) et à Clermont-Ferrand et Lyon. Les dépôts de N-NH₃ (0,1-22,6 kg.ha⁻¹.an⁻¹) et de N-NO₃ (0,1-30,6 kg.ha⁻¹.an⁻¹) ont été plutôt faibles, comparés avec ceux mesurés en campagne, soit à cause d'erreurs d'échantillonnage (périodes trop longues) soit à cause du transport à courte et moyenne distance des émissions gazeuses, en dehors des villes. Les dépôts de S-SO₂ (2,6-148,9 kg.ha⁻¹.an⁻¹) représentent le mieux les tendances à la baisse des émissions industrielles à Paris et Bordeaux, mais cela n'a pas été le cas dans les autres villes.

ABSTRACT

Bulk deposition was measured annually in France between 1968 and 1990 in several industrialized and urban agglomerations between 1968 and 1990, in order to control the impact of dispersed emissions. The trends of K, Ca, Mg, Na, N-NH₃, N-NO₃, S-SO₂, and Cl annual deposition are discussed. Ca (6,6-107,4 kg.ha⁻¹.an⁻¹) and Mg (0,6-89,1 kg.ha⁻¹.an⁻¹) deposition was approximately 1,5 to 4,5 times higher than in rural areas. They were found to be highest in Clermont-Ferrand, Bordeaux and Paris. Na (3,3-248,5 kg.ha⁻¹.an⁻¹) and Cl (10,6-492,7 kg.ha⁻¹.an⁻¹) were highest near the seaside (La Rochelle, Bayonne and Bordeaux) and in Clermont-Ferrand and Lyon. N-NH₃ (0,1-22,6 kg.ha⁻¹.an⁻¹) and N-NO₃ (0,1-30,6 kg.ha⁻¹.an⁻¹) were both rather low compared to rural deposition, either due to errors in the sampling method (too long sampling periods) or due to short to middle range transport of the air masses, outside the cities. SO₂ deposition (2,6-148,9 kg.ha⁻¹.an⁻¹) reflected best the industrial global emission trends for France in Paris and Bordeaux, but not in the other cities.

1. Introduction

La mesure des dépôts atmosphériques en ville est un moyen de suivi de la pollution urbaine comparable à la mesure en continu des concentrations gazeuses (par exemple O₃, NO, NO₂, SO₂, CO₂) et des aérosols dans l'air. Par rapport à ces dernières méthodes, l'échantillonnage et l'analyse des dépôts est plus simple et surtout moins coûteux. La fréquence d'échantillonnage peut être aussi bien journalière qu'hebdomadaire ou mensuelle. Un écart plus grand n'est pas recommandé, à cause de pertes parfois importantes des composés volatilisables, comme

NH₃, HNO₃ (ici exprimé en tant que N-NO₃) et H₂SO₄ (ici exprimé en tant que S-SO₂), surtout sous l'effet de la chaleur et de l'insolation (BUIJSMAN et ERISMAN, 1988) et à cause de l'évaporation de l'eau de pluie.

En ville, la mesure des dépôts est certainement une des plus anciennes méthodes utilisée pour quantifier l'impact de la pollution (BARRAL, 1852 ; BOUSSINGAULT, 1858 a et b, BOBIERRE, 1864). ALBERT-LEVY (1878-1907), le pionnier français de la surveillance à long terme de la pollution urbaine avait entre autres installé à Paris un petit réseau, constitué de 6 stations, pour analyser quotidiennement les composés azotés (NH₃, NO₃ et azote organique) dans la pluie, le brouillard, la neige, la rosée, le givre et la gelée blanche durant plusieurs années, vers la fin du 19^e siècle.

(*) Office National des Forêts, Département des Recherches Techniques, Boulevard de Constance, 77300 Fontainebleau ; Tél. : (1) 64 22 18 07 Fax : (1) 64 22 49 73.

Nous avons réalisé une synthèse sur les données accessibles de dépôts atmosphériques totaux mesurés en France entre 1968 et 1990 dans des réseaux urbains ou industriels. Le travail présenté ci-dessous fait partie d'une synthèse bibliographique sur l'ensembance des dépôts atmosphériques mesurés en France de 1850 à 1990 (ULRICH et WILLIOT, 1993), ayant pour objectif de faire le point sur ce sujet mal connu en France.

Depuis la fin des années 1960, un nombre restreint de villes s'est doté d'un réseau urbain ou semi-urbain de surveillance des dépôts atmosphériques. Plusieurs industries se sont également équipées de réseaux locaux pour surveiller les retombées à courte distance des émissions (retombées qui ne seront pas analysées ici, car leur importance se limite souvent à des zones restreintes).

L'objectif de ces réseaux était la détection de valeurs extrêmes dans les relevés mensuels, afin d'interpréter les conséquences des pointes accidentelles des émissions en ville. Il semble qu'un suivi du dépôt annuel et de son évolution n'a pas été envisagé dans la plupart des réseaux. Beaucoup de données, jamais publiées jusqu'ici, nous ont été communiquées par les responsables sous forme de dépôt mensuel, même pour des périodes de plus de 10 ans sans qu'il n'y ait jamais eu une interprétation des résultats (à l'exception des me-

sures de COVIAUX *et al.*, 1984 et PETIT-CO-
VIAUX, 1991).

2. Evolution des émissions dans la période étudiée

Les séries de mesures de dépôts discutées ci-dessous couvrent la période entre 1968 et 1990. La plupart des composés émis par les industries, la combustion automobile et domestique, influencent les dépôts à proximité des lieux d'émissions. Toutefois, il existe souvent un effet de déplacement par rapport au site d'émission, suite aux mouvements des masses d'air.

En général, on considère que les dépôts mesurés à faible distance des zones d'émission reflètent l'évolution des émissions. L'estimation de ces dernières a été réalisée pour la France par CANH (1991) (figure 1). On peut supposer que les dépôts de SO_4 issus des émissions de SO_2 , mise à part leur origine marine, ont baissé de 50 % entre 1973 et 1990. De même, les dépôts azotés (surtout NO_3) pourrait avoir connu une forte augmentation, suite à la hausse importante des émissions en NO_x entre les années 60 et 80, puis être rester stable. En ce qui concerne les dépôts de Ca, Mg etc., principalement contenus dans les émissions de poussières, ils auraient dû également voir leur taux baisser de 50 % entre 1960 et 1990.

kt/an

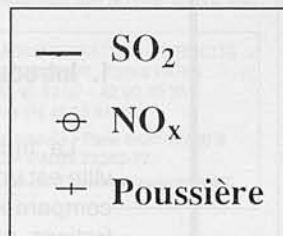
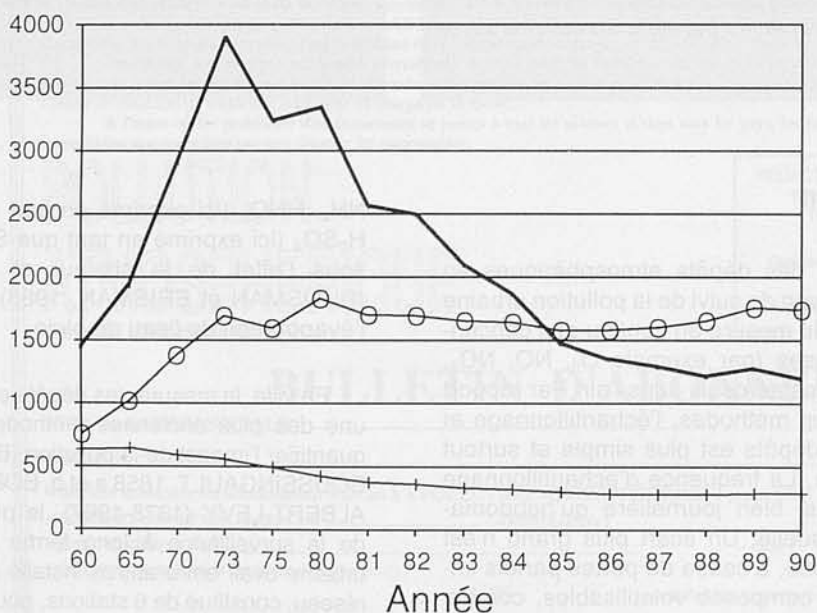


Figure 1.
Estimation des émissions totales en France des SO_2 , NO_x , et des poussières de 1960 à 1990
(d'après CANH, 1991).

Total SO_2 , NO_x and dust emission estimations for France between 1960 and 1990 (after CANH, 1991).

3. Méthode

La collecte des échantillons a été effectuée mensuellement à l'aide de jauges d'Owen. Les dépôts ont été calculés à partir des résultats d'analyses mensuelles, puis totalisés sur l'année, afin d'obtenir des séries pluriannuelles. Les données ont été soumises à une sélection stricte quant à la prise en compte des dépôts annuels : seules les années présentant des séries de dépôts mensuels complètes ont été acceptées. Aucune extrapolation n'a donc été faite, car celle-ci aurait induit des erreurs non acceptables : il est aujourd'hui établi qu'un nombre très faibles d'événements pluvieux « pilotes » peuvent apporter jusqu'à un tiers du dépôt annuel pour plusieurs éléments ; ce dépôt peut avoir lieu entre une et sept semaines (CENAC et ZEPHORIS, 1992)

Certaines données complètes et représentant des séries d'années assez longues (par exemple données du Nord, Pas-de-Calais) transmises ont été trop difficiles à mettre à jour pour cette synthèse, à cause de la façon dont elles ont été calculées dans les rapports.

Notre interprétation se base sur les seules villes, pour lesquelles nous avons parfois eu difficilement accès aux données. Nous sommes convaincus que des mesures ont été réalisées dans d'autres villes, mais nous n'avons pu le vérifier malgré des recherches actives dans plusieurs grandes agglomérations.

4. Résultats

Les résultats auxquels nous avons pu avoir accès, sont résumés dans les figures 2 à 5.

4.1. Les villes incluses dans la synthèse

L'analyse des tendances spatio-temporelles inclut les agglomérations de Rouen, Lyon, Bordeaux, Bayonne, La Rochelle, Clermont-Ferrand, Lagor (région de Lacq) et de la région Ile-de-France.

Dans cette dernière une étude réalisée par le Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris a spécialement été consacrée à la détermination de l'influence des émissions de l'agglomération parisienne sur les retombées atmosphériques dans un rayon de 55 à 88 km du centre de Paris (COVIAUX *et al.*, 1984 ; PETIT-COVIAUX, 1991).

A La Rochelle, les mesures sont effectuées en continu depuis 1977 par le laboratoire Départemental d'Hygiène et Régional d'Hydrologie dans 4 stations. Nous en avons choisi deux, afin de documenter les variations à faible distance dans une zone industrialisée (BERGER et LEPAREUR, 1991).

A l'INRA de Clermont-Ferrand, LOISEAU et DELPY (1993) ont suivi les dépôts en liaison avec la nutrition des plantes agricoles.

Le Laboratoire Municipal de Bordeaux (DUFOIR *et al.*, 1991) et le Service d'Hygiène et de Santé de la Ville de Lyon (RITTER et GOLDEN, 1991) qui gèrent des réseaux urbains, ont sélectionné chacun une station représentative en centre ville.

Des mesures, témoignant de la pollution dans une région fortement industrialisée, nous ont été transmises par le Centre Départemental d'Etudes et de Recherches sur l'Environnement des Pyrénées Atlantique, qui gère des réseaux dans la région de Bayonne, Lacq et Pau (BONTE/CDERE, 1991). Nous avons choisi deux stations de ces réseaux.

4.2. Points communs

Toutes les stations comparées dans les figures 2 à 5, représentent des sites urbains indirectement influencés par des sources industrielles ponctuelles proches (distance d'au moins 2 km).

La répartition spatiale des charges en zone urbaine et industrialisée (figures 2 à 5) est néanmoins influencées par la nature et la quantité des émissions dispersées locales. A l'exception des origines surtout marines (Na^+ , Cl^- , K^+), on trouve à peu près la même fourchette de valeurs dans la plupart des grandes villes (Paris, Lyon, Bordeaux, et La Rochelle). Seul, Clermont-Ferrand dépasse en ce qui concerne la plupart des composés les valeurs observées dans les autres villes. A Rouen-Boos, situé à environ 6,5 km au Sud-Est de Rouen, les dépôts de S-SO_4^{2-} ont été très importants en 1975/76, avec un maximum de $148,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. Il existe probablement une forte influence des émissions de la ville de Rouen même, car Boos se trouve dans son panache.

Seuls les dépôts de SO_4 à Paris (COVIAUX *et al.*, 1984 ; PETIT-COVIAUX, 1991) reproduisent très bien l'évolution des émissions. Afin de pouvoir dégager des tendances pour les autres composés il serait nécessaire de calculer les concentrations moyennes annuelles pondérées par la pluviosité. Ceci n'a pas été possible, car pour la plupart des sites les données sur la pluviosité n'ont pas été archivées.

4.3. Les dépôts en calcium et magnésium (figure 2)

Les dépôts urbains de Ca^{2+} et Mg^{2+} sont environ 1,5 à 4,5 fois plus élevés que les dépôts correspondant à la campagne (ULRICH et WILLIOT, 1993). Les figures ne traduisent pratiquement pas de différences spatiales entre l'Est et l'Ouest ou le Nord et le Sud. Les valeurs maximales ont été atteintes à Clermont-Ferrand avec $107,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ de Ca^{2+} . Il est possible de suspecter la présence de sources de Ca^{2+} (plâtrières, cimenteries) à proximité des grandes villes en plus de celle constituée par l'érosion des bâtiments et

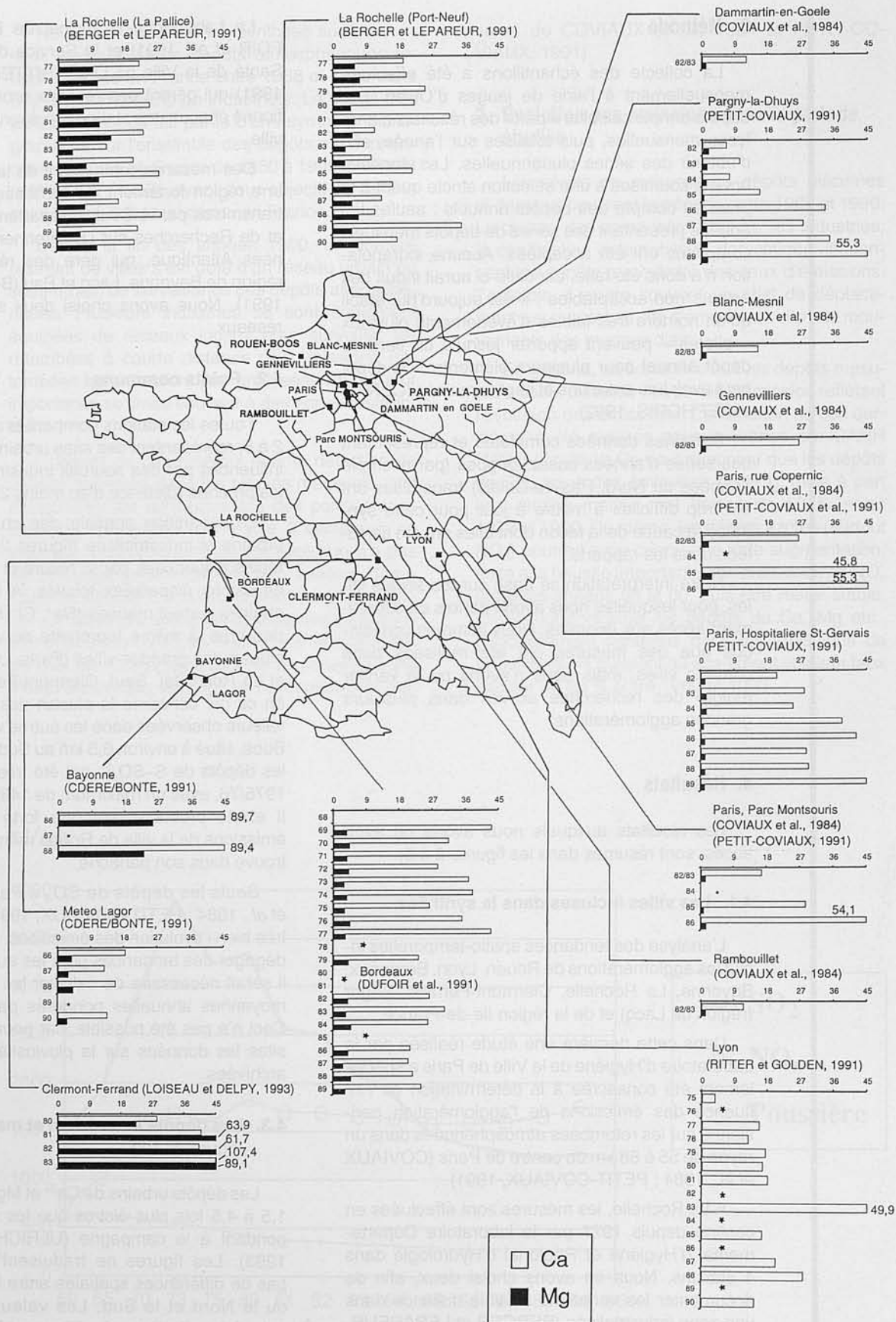


Figure 2.
 Tendances spatio-temporelles des dépôts dans les zones urbaines et industrialisées de Ca^{2+} et Mg^{2+} en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ en France ; * = années non mesurées ou incomplètes.
 Spatial and temporal trends of Ca^{2+} and Mg^{2+} bulk deposition (in $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$) in urban and industrialized agglomerations in France ; * = years without measurements or with an incomplete data set.

des rues. D'après COVIAUX *et al.* (1984) ceci semble être le cas en région parisienne où les retombées de Ca^{2+} sont très importantes par rapport aux villes avoisinantes, et surtout lorsque le vent vient du Nord-Est (par exemple plâtre de Paris et Cimenteries de Picardie). De plus, les dépôts de Ca^{2+} et Mg^{2+} restent stables durant les années de mesures.

D'après LEE et LONGHURST (1989), cités dans IRWIN *et al.*, (1990), la plupart du calcium observé dans les eaux de pluie en ville provient effectivement de sources locales, mais il est principalement apporté par les pluies. D'après ces auteurs il s'agit surtout du lavage de l'atmosphère (« below-cloud-scavenging », se trouvant en dessous des nuages, de particules générées localement. Il faut cependant tenir compte de l'importance de la variabilité annuelle dans une même ville ou une zone industrielle, comme le mettent en évidence les mesures à La Rochelle. IRWIN *et al.* (1990) ont également trouvé une variabilité spatiale dans le réseau de Greater Manchester, en Grande Bretagne (1 300 km², 2,5 millions d'habitants).

4.4. Les dépôts en sodium et chlorure (figure 3)

Lyon et Clermont-Ferrand, pourtant situés loin de la mer reçoivent des flux en Cl^- relativement élevés. Par contre, les flux de Na^+ et de Cl^- , étant déjà naturellement importants à proximité de la mer, sont encore augmentés dans les villes proches de l'Atlantique par les émissions industrielles. C'est ainsi qu'une charge maximale de presque 500 kg.ha⁻¹.an⁻¹ de Cl^- a été mesurée en 1986 à Bayonne. Dans les autres villes proches de la mer et moins industrialisées, la valeur maximale se trouve par contre entre 79,8 et 154,9 kg.ha⁻¹.an⁻¹.

4.5. Les dépôts en nitrate et ammonium (figure 4)

L'interprétation des dépôts azotés pose un problème : la figure 4 montre des charges de N-NO_3^- et N-NH_4^+ plutôt faibles. Les seules valeurs un peu élevées sont observées en Ile-de-France, à Clermont-Ferrand et en région de Lacq. Si l'on compare ces charges avec celles des dépôts totaux en zone rurale (ULRICH et WILLIOT, 1993), on constate que ces derniers sont plus élevés, de quelques kg.ha⁻¹.an⁻¹. Etant donné que les émissions azotées sont plus importantes dans les agglomérations qu'à la campagne, on est tenté de supposer que les dépôts azotés sont plus élevés en ville qu'à la campagne. Ceci n'étant semble-t-il pas le cas, nous envisageons deux causes, qui se sont probablement conjuguées :

1) Les dépôts sont réellement ce qu'ils sont ; dans ce cas les composés gazeux d'ammoniac et de monoxyde d'azote émis localement ne se

transforment pas localement en dépôt, mais sont transportés à moyenne et longue distance et contribuent alors à augmenter les dépôts d'azote. Cette hypothèse est particulièrement plausible, si l'on tient compte du fait que les gouttelettes de nuages ne s'enrichissent qu'en traversant les zones d'émission (incorporation de composés gazeux et oxydation) (HALES, 1988 ; BRECHTEL, 1989 ; IRWIN *et al.*, 1990). L'étude de ces phénomènes fait d'ailleurs l'objet du programme EMEP.

2) Les dépôts en zone urbaine et industrielle sont plus élevés que ne le traduisent les mesures résumées dans la figure 4 ; dans ce cas on peut supposer qu'il y a eu des pertes d'azote nitrique et ammoniacal sous forme gazeuse ou à cause de l'activité biologique dans l'eau récoltée entre les périodes d'échantillonnage, ainsi qu'évaporation de l'eau pendant les périodes d'échantillonnage relativement longues ⁽¹⁾.

Dans une étude sur l'ammonium en Europe, intégrant 218 stations de mesure, BUIJSMAN et ERISMAN (1988) indiquent que l'utilisation de collecteurs n'étant pas à l'abri de la lumière, entraîne une réduction des concentrations d'ammonium pouvant aller jusqu'à 20 %, par rapport aux collecteurs protégés de l'insolation, indépendamment de la période d'échantillonnage, observation déjà faite en 1861 par HOUZEAU. Cette hypothèse semble surtout plausible en été, quand les collecteurs sont soumis à de fortes insulations dues au réfléchissement intense de la lumière en milieu urbain et au climat plus chaud qu'en zone rurale.

En général, les variations interannuelles des composés azotés sont importantes et ne permettent pas de dégager de tendances à long terme ⁽²⁾.

4.6. Les dépôts en sulfates (figure 5)

Les dépôts de SO_4^{2-} en ville sont en général également plus élevés que les dépôts totaux en zone rurale. Les variations interannuelles sont moins prononcées que pour les autres composés et on peut constater une tendance à la baisse, de la fin des années 1960 à 1990. Celle-ci est surtout marquée à Paris et à Pargny-la-Dhuys (située à 88 km à l'Ouest de Paris, dans le panache des émissions de la capitale, COVIAUX *et al.*, 1984). La diminution des dépôts soufrés est de l'ordre de 50 % au cours des 20 dernières années, chiffres qui correspondent bien aux estimations pour la France entière.

L'étude de COVIAUX *et al.* (1984) montre aussi clairement les gradients dégressifs pour S-SO_4^{2-}

(1) L'échantillonnage n'est souvent fait que mensuellement.

(2) Les mesures faites à Bordeaux de 1968 à 1976 semblent traduire un dépôt plus faible par rapport à la période qui suit, mais ceci est dû, d'après les renseignements du laboratoire municipal de Bordeaux, à deux méthodes d'analyses différentes, avec la moindre sensibilité de l'ancienne méthode.

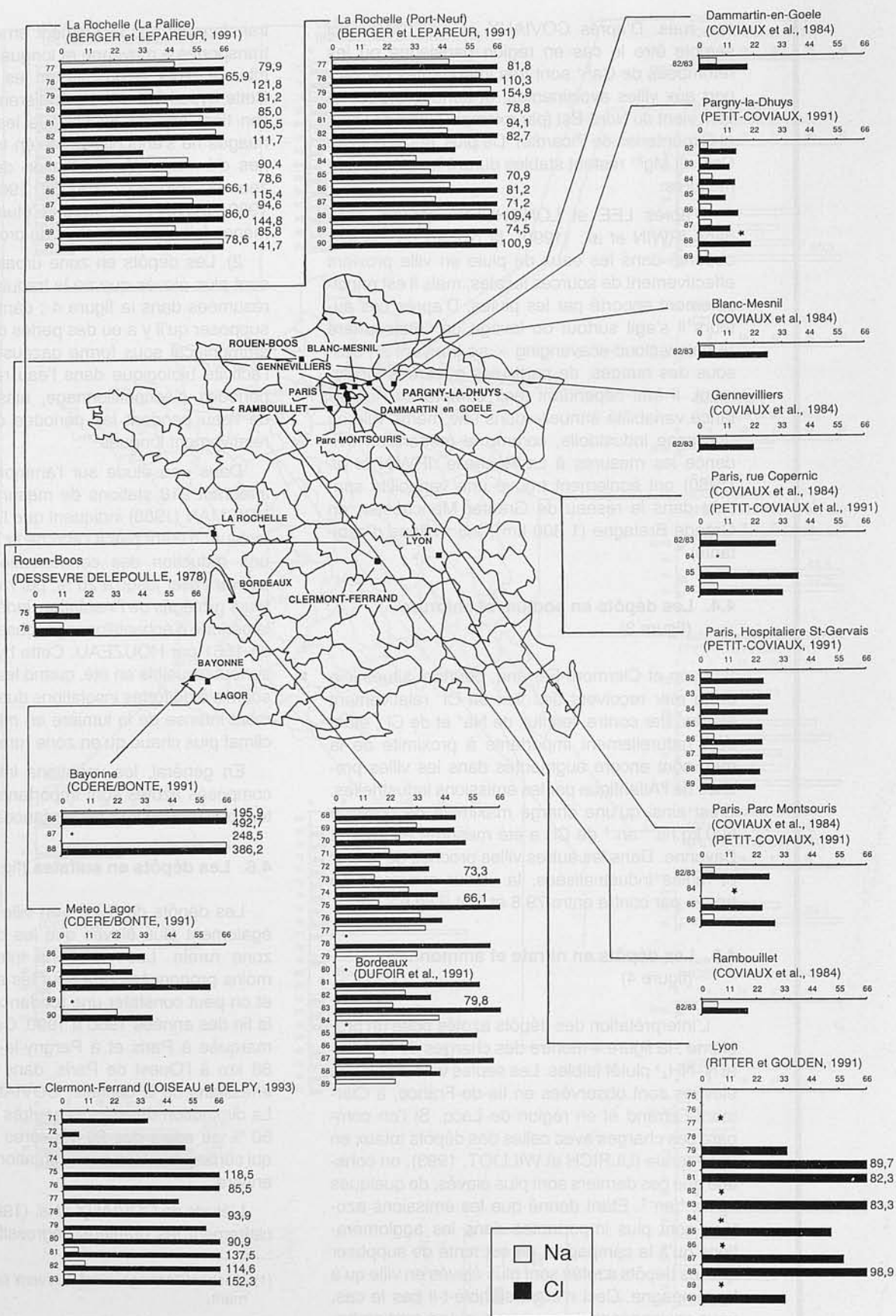


Figure 3. Tendances spatio-temporelles des dépôts dans les zones urbaines et industrialisées de Na⁺ et Cl⁻ en kg.ha⁻¹.an⁻¹ en France ; * = années non mesurées ou incomplètes.
 Spatial and temporal trends of Na⁺ and Cl⁻ bulk deposition (in kg.ha⁻¹.an⁻¹) in urban and industrialized agglomerations in France ; * = years without measurements or with an incomplete data set.

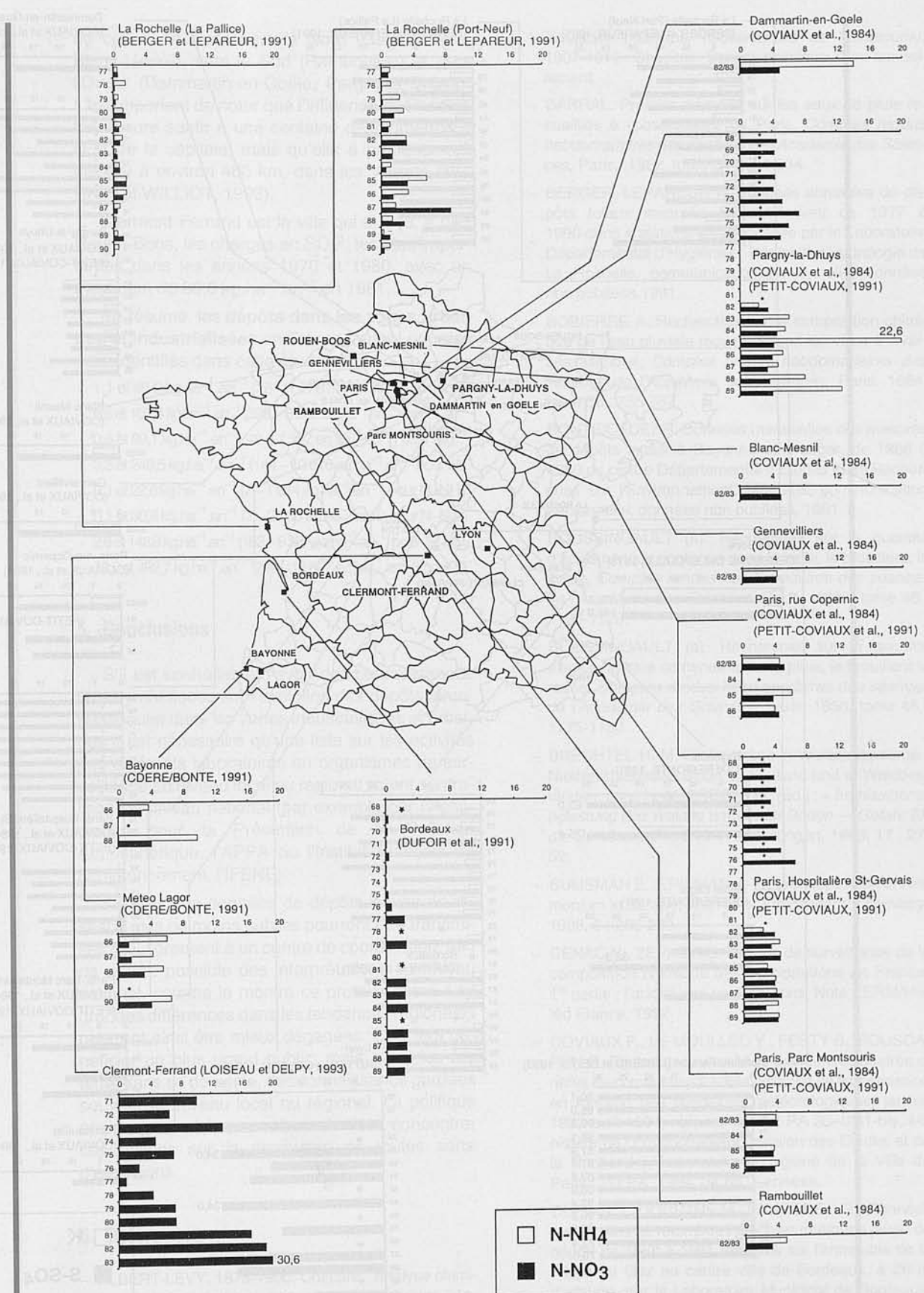


Figure 4.
Tendances spatio-temporelles des dépôts dans les zones urbaines et industrialisées de $N-NH_4^+$ et $N-NO_3$ en $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$ en France ; * = années non mesurées ou incomplètes.
Spatial and temporal trends of $N-NH_4^+$ and $N-NO_3$ bulk deposition (in $kg \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$) in urban and industrialized agglomerations in France ; * = years without measurements or with an incomplete data set.

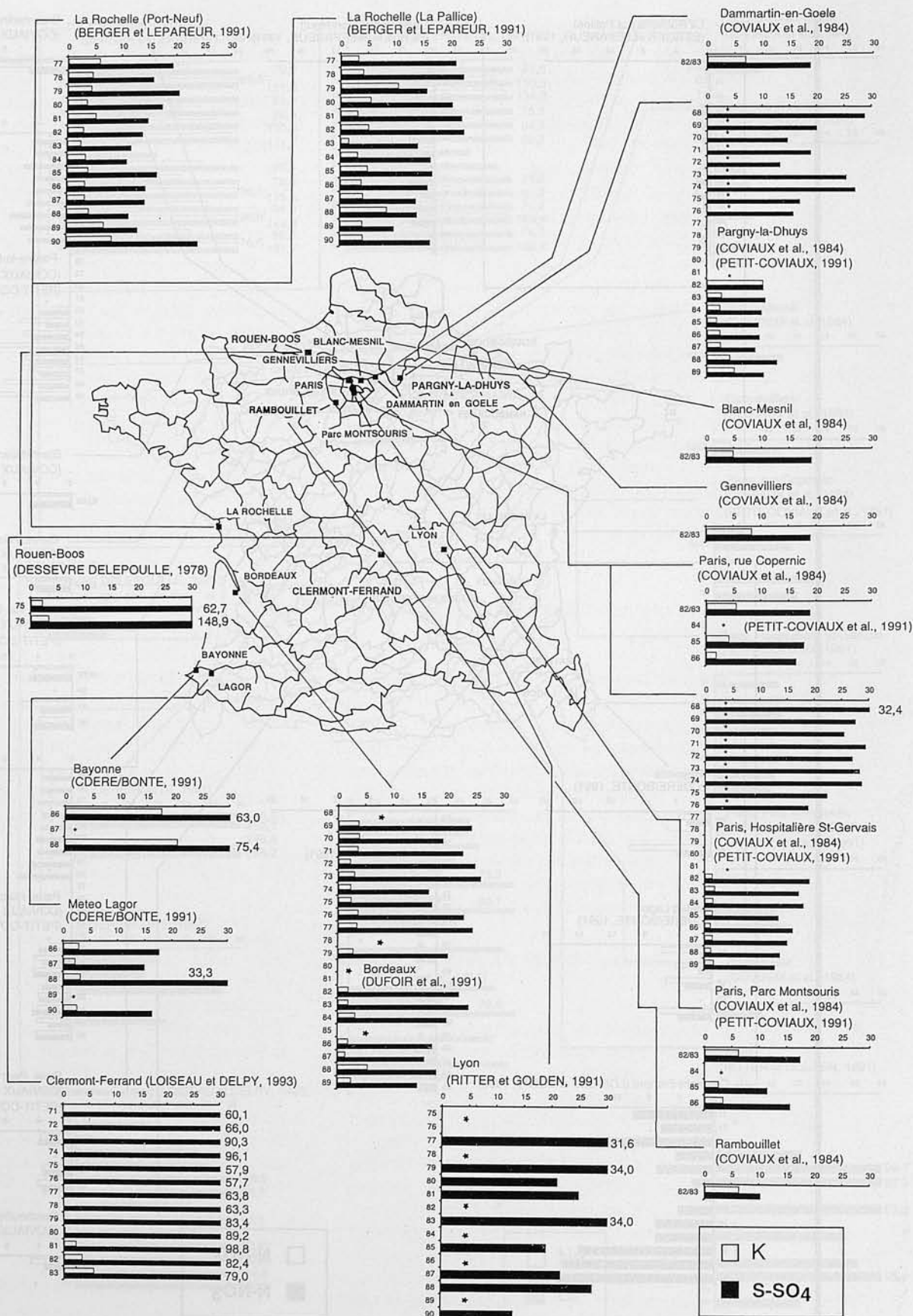


Figure 5. Tendances spatio-temporelles des dépôts dans les zones urbaines et industrialisées de K⁺ et S-SO₄²⁻ en kg.ha⁻¹.an⁻¹ en France ; * = années non mesurées ou incomplètes. Spatial and temporal trends K⁺ and S-SO₄²⁻ bulk deposition (in kg.ha⁻¹.an⁻¹) in urban and industrialized agglomerations in France ; * = years without measurements or with an incomplete data set.

du centre de Paris vers le Nord (Gennevilliers, Blanc-Mesnil), vers le Sud (Rambouillet) et vers l'Ouest (Dammartin-en-Goële, Pargny-la-Dhuys). Il est important de noter que l'influence de Paris se fait encore sentir à une centaine de kilomètres à l'Est de la capitale, mais qu'elle a pratiquement disparu à environ 400 km, dans les Vosges (ULRICH et WILLIOT, 1993).

Clermont-Ferrand est la ville qui a reçu, à part Rouen-Boos, les charges en SO_4^{2-} les plus importantes dans les années 1970 et 1980, avec un maximum de $98,8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ en 1981.

En résumé, les **dépôts dans les zones urbaines et industrialisées** en France varient pour les sites identifiés dans cette étude entre :

- 1,1 et $49,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ($28 - 1\,276 \text{ eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour K^+
- 6,6 et $107,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ($329 - 5\,360 \text{ eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour Ca^{2+}
- 0,6 et $89,1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ($49 - 7\,332 \text{ eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour Mg^{2+}
- 3,3 et $248,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ($144 - 10\,810 \text{ eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour Na^+
- 0,1 et $22,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ($7 - 1\,614 \text{ eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour N-NH_4^+
- 0,1 et $30,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ($7 - 2\,185 \text{ eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour N-NO_3^-
- 2,6 et $148,9 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ($162 - 9\,287 \text{ eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour S-SO_4
- 10,6 et $492,7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ($299 - 13\,897 \text{ eq} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) pour Cl^-

5. Conclusions

S'il est souhaitable d'avoir des connaissances plus synthétiques sur l'évolution des dépôts atmosphériques dans les zones industrialisées et urbaines il est nécessaire qu'une liste sur les activités des différents laboratoires ou organismes de surveillance au niveau local ou régional soient centralisée au niveau national (par exemple par l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique, l'APPA ou l'Institut Français de l'Environnement, l'IFENE).

De plus, les données de dépôts issues de réseaux plus ou moins publics pourront être transmises régulièrement à un centre de coordination, afin de rendre possible des interprétations au niveau national, comme le montre ce premier essai. Les grandes différences dans les tendances régionales pourront ainsi être mieux dégagées. Ceci fera bénéficier un plus grand public, mais aussi les acteurs dans ce domaine, des connaissances gardées souvent au niveau local ou régional. La politique environnementale pourrait ainsi mieux concentrer ces actions sur la diminution de toutes sortes d'émissions.

6. Références

- ALBERT-LEVY. 1878-1900. Chapitre : Analyse chimique de l'air et de l'eau, paru annuellement dans l'*Annuaire de l'Observatoire de Montsouris*.
- ALBERT-LEVY. 1990-1907. Chapitre Service chimique, analyse des eaux ; eaux météoriques, apparu annuellement dans les *Annales de l'Observatoire municipal (Observatoire de Montsouris)*. *Annales de l'Observatoire municipal (Observatoire de Montsouris)*, 1907-1912 : Chapitre : Service chimique, paru annuellement.
- BARRAL. Premier mémoire sur les eaux de pluie recueillies à l'observatoire de Paris, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 1852, tome 34 : 824-834.
- BERGER, LEPAREUR F. Données annuelles de dépôts totaux mesurés mensuellement de 1977 à 1990 dans 4 stations à La Rochelle par le Laboratoire Départemental d'Hygiène et Régional d'Hydrologie de La Rochelle, communication personnelle, données non publiées. 1991.
- BOBIERRE A. Recherches sur la composition chimique de l'eau pluviale recueillie dans les villes à diverses altitudes, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 1864, tome 58 : 755-757.
- BONTE/CEDERE. Données mensuelles des mesures de dépôts totaux à Bayonne et à Lagor, de 1986 à 1990 du centre Départemental d'Etudes et de Recherches sur l'Environnement, Mourenx, communication personnelle, données non publiées, 1991.
- BOUSSINGAULT (a). Recherches sur la quantité d'acide nitrique contenue dans la pluie, le brouillard, la rosée, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 1858, tome 46 : 1123-1129.
- BOUSSINGAULT (b). Recherches sur la quantité d'acide nitrique contenue dans la pluie, le brouillard la rosée, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 1858, tome 46 : 1175-1183.
- BRECHTEL H.-M. Stoffeinträge in Waldökosysteme - Niederschlagsdeposition im Freiland und in Waldbeständen, dans H.-M. BRECHTEL (Ed.) : « *Immissionsbelastung des Waldes und seiner Böden — Gefahr für die Gewässer ?* », *DVWK Mitteilungen*, 1989, 17 : 27-52.
- BUIJSMAN E., ERISMAN J.-W. Wet deposition of Ammonium in Europe, *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1988, 6 : 265-280.
- CENAC N., ZEPHORIS. Dix ans de surveillance de la composition chimique des précipitations en France, 1^{re} partie : l'acidité des précipitations. Note EERM/Météo France, 1992.
- COVIAUX F., LE MOULLEC Y., FESTY B., BOUSCAREN R. Etudes des retombées des dérivés soufrés et nitrés de combustion à faible distance de leur émission en fonction des conditions météorologiques, janvier 1982-avril 1984, rapport, contrat PA 80-4261-bis, Ministère de l'Environnement, mission des Etudes et de la Recherche, Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris/CITEPA, 1984, 34 pp. + annexe.
- DUFOIR J., DOURTHE M., FAUGERE J.G. Données mensuelles de retombées globales (méthode jauge de dépôt) de 1968 à 1991 mesurés sur l'immeuble de la Régie du Gaz au centre ville de Bordeaux, à 26 m d'altitude, par le Laboratoire Municipal de Bordeaux, communication personnelle, données non publiées, 1991.
- HALES J.M. Atmospheric chemistry, a Lay Person's introduction, dans J.C. WHITE (Ed.). *Proceedings of the conference « Acid Rain, the relationship between*

sources and receptors », Washington D.C., 3-4 décembre 1986, Elsevier : 71-89, 1988.

- HOUZEAU A. Sur les causes capables d'influer sur la teneur en ammoniacque des eaux pluviales, *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 1861, tome 53 : 259-260.
- IRWIN J.G., CAMPELL G.W., CAPE J.N., CLARK P.A., DAVIES T.D., DERWENT R.G., FISHER B.E.A., FOWLER D., KALLEND A.S., LONGHURST J.W.S., MARTIN A., SMITH F.B., WARRILOW D.A. Acid deposition in the United Kingdom 1986-1988, third report of the United Kingdom Review Group on Acid Rain, 1990, 124 pp.
- LEE P.S., LONGHURST J.W.S. Urbain acid deposition : a case study of Greater Manchester, dans J.W.S. LONGHURST (Eds.) : « *Acid deposition, sources, effects and controls* », British Library, London and Technical Communications, Letchworth, 1989.
- LOISEAU M., DELPY R. Données de dépôts annuels à découvert mesurés à Clermont-Ferrand, INRA, domaine de Mont Désir et de St Genès-Champagnelle, communication personnelle, 1993.
- PETIT-COVIAUX F. Données annuelles des dépôts totaux observées depuis 1982 au centre de Paris et à Pargny (80 km à l'Est de Paris) et dépôts totaux en g/m²/an, Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris, communication personnelle, données non publiées, 1991.
- RITTER P., GOLDEN. Données mensuelles de dépôts totaux (méthode jauge de dépôt) de 1974 à 1990 mesurés à la station Lyon-Brotteaux par le Service d'Hygiène et de Santé de la Ville de Lyon, communication personnelle, données non publiées, 1991.
- ULRICH E., WILLIOT B. Les dépôts atmosphériques en France de 1850 à 1990, ADEME, ONF (EDS.), ISBN 2-904 384 48-0, 1993, pp. 154.