

Pollution des fourrages et des sols par les éléments du groupe platine issus de la circulation routière

Abdourahamane TANKARI DAN-BADJO^{1,2,3,*}, Guéro YADJI³, Nomaou DAN LAMSO³,
Cécile DUCOULOMBIER¹, Cyril FEIDT¹, Thibault STERCKEMAN², Guillaume
ECHEVARRIA² et Guido RYCHEN¹

⁽¹⁾ UR AFPA, Nancy-Université, INRA, Vandoeuvre-Les-Nancy, France

⁽²⁾ LSE, Nancy-Université, INRA, Vandoeuvre-Les-Nancy, France

⁽³⁾ Département Sciences du sol, Faculté d'agronomie de Niamey
Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey (Niger)

* E-mail : tankari@yahoo.fr

Résumé- L'augmentation de dépôt des éléments du groupe platine (PGE : Pt, Pd et Rh) émis par les véhicules sur le fourrage et sur le sol soulève des préoccupations concernant les risques sur la qualité des aliments, et par conséquent sur la santé humaine. Ici, nous rapportons la distribution spatiale des PGE sur le ray-grass et sur les sols à l'échelle d'une exploitation agricole située à proximité d'une route nationale avec une densité de trafic de 7200 véhicules/jour. Contrairement aux études classiques procédant généralement par des mesures sur des végétaux prélevés directement sur les sites, nous avons utilisé une autre approche expérimentale afin de permettre une évaluation sans équivoque de l'impact de la pollution automobile. Le ray-grass a d'abord été cultivé dans des pots en serre fermée afin d'isoler les plants de tout contact avec l'air extérieur. Ensuite, les pots de ray-grass ont été transférés sur la parcelle expérimentale. La répartition des PGE a été évaluée en plaçant pendant un mois les pots de ray-grass à différentes distances de la route: 0, 10, 25 et 50 m. En outre, des échantillons des sols sont prélevés à tous les endroits où les pots de ray-grass ont été placés. Les concentrations de PGE dans les échantillons du ray-grass et des sols ont été analysées par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP/MS). Nos résultats montrent clairement l'impact de la circulation routière aussi bien sur la pollution du ray-grass que sur celle du sol. Les teneurs maximales de PGE sont obtenues à proximité immédiate de la route. De 0 à 50 m de la route, les concentrations de Pd décroissent significativement jusqu'à 39% dans le ray-grass et 50% dans le sol. Les cartes de pollution devraient donc permettre d'évaluer plus précisément l'impact de la circulation routière sur la qualité des aliments.

Mots Clés: PGE, sol, ray-grass, cartes de pollution, trafic routier

Fodder and soil pollution by the platinum group elements from road traffic

Abstract- The increase in deposition of platinum group elements (PGEs: Pt, Pd and Rh) from vehicles on grass and soil has raised concerns about the risk for the quality of food and, in turn, for human health. Here we report the PGEs spatial deposition on ryegrass and soil at the agricultural scale near a rural road with 7200 vehicles per day. While classical studies usually involve direct measurements of plants growing in the field, we used an alternative experimental approach to allow an unambiguous assessment of the pollution impact. Ryegrass (*Lolium perenne*) was first cultivated in pots in a closed greenhouse to isolate the plants from the outdoor atmosphere. Then, ryegrass pots were transferred to the agricultural field. The distribution of PGEs was assessed by placing ryegrass pots 0 m, 10 m, 25 m and 50 m from the road. This method thus allowed the measurement of PGE deposit from vehicle emissions during a known timeframe (one month). Moreover, the soil samples were collected at all locations where the ryegrass pots were placed in this sampling site. The PGE concentrations in ryegrass and in soil samples were analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Our results clearly show the impact of traffic pollution on both ryegrass and soil. The maximum PGE concentrations are obtained close to the road. From 0 to 50 m away from the road, Pd concentrations decrease significantly up to 39% in ryegrass and up to 50% in soil. Pollution map should thus help to assess more precisely the impact of road traffic on food quality.

Key words: PGE, soil, ryegrass, pollution maps, road traffic

Introduction

Le trafic routier est la plus importante source d'émissions des éléments du groupe platine (PGE) susceptibles de contaminer les matrices environnementales. Les PGE sont produits par l'abrasion et la détérioration des catalyseurs automobiles, et sont principalement le platine (Pt), le palladium (Pd) et le rhodium (Rh). Les PGE sont utilisés comme catalyseurs pour purifier les gaz d'échappement en convertissant les gaz toxiques (monoxydes de carbone, hydrocarbures, oxydes d'azotes) en des substances moins toxiques comme le CO₂, l'eau et l'azote [1]. Cependant depuis leur introduction dans l'industrie automobile, les concentrations de PGE dans l'environnement ont considérablement augmenté. En effet plusieurs études ont établi un lien entre l'augmentation de l'utilisation des catalyseurs automobiles et l'accroissement des teneurs en PGE dans l'environnement [2,3]. Ainsi des concentrations de Pt comprises entre 1,2 et 30 µg/kg MS [3,4] ont été détectées dans de l'herbe prélevée à proximité de voies routières alors que la teneur en Pt dans de l'herbe collectée loin de toute source de contamination était inférieure à 0,02 µg/kg MS [5]. Des études ont démontré que les plantes sont capables d'assimiler les PGE [6,7].

Les composés de Pt sont connus pour être cytotoxiques et peuvent avoir des effets mutagéniques et cancérogènes [8]. Le Pd et ses composés sont potentiellement allergéniques [9]. Le Pd et le Rh sont respectivement 2 et 30 fois moins cytotoxiques que le Pt et ont un potentiel mutagénique faible [10].

Les émissions de PGE issus du trafic routier représentent une source potentielle de pollution du fourrage et du sol. L'augmentation de ces émissions soulève la question de leur accumulation dans les matrices agricoles. En effet les PGE peuvent entrer dans la chaîne alimentaire lors de l'ingestion du fourrage contaminé par les ruminants. Plusieurs études ont révélé des concentrations très élevées dans les végétaux et dans les sols exposés en bordure de routes ou d'autoroutes [3,11]. Cependant ces études ont été réalisées dans des conditions de contamination maximum (distance < 10 m des voies routières). Cela peut induire un manque de connaissances dans l'évaluation du niveau de contamination de fourrages dans la mesure où les pâtures ne se trouvent pas qu'à proximité des voies routières. Ainsi, en vue de compléter nos connaissances, nous avons effectué une étude de spatialisation de la contamination en PGE à l'échelle d'une parcelle fourragère située à proximité d'une route nationale. L'objectif était de déterminer les concentrations de PGE dans l'herbe et le sol situés à proximité d'une route nationale ainsi que leur répartition à l'échelle d'une exploitation agricole.

2. Matériel et méthodes

2.1. Culture de bioaccumulateurs (modèle ray-grass)

Dans le but de limiter la variabilité interspécifique sur terrain et de disposer d'un point témoin, nous avons adapté et utilisé une méthode de culture standardisée (German VDI 3957), utilisant l'espèce monocotylédone *Lolium perene* [12]. Le ray-grass est une espèce fourragère couramment employée dans l'alimentation des ruminants, ce qui permet de se rapprocher au mieux des conditions de terrain. De plus, il est souvent utilisé en bioaccumulation dans le contrôle des concentrations en divers polluants dont les polluants métalliques [11, 13]. Dans un phytotron maintenu sous des conditions standardisées de température (15°C), de lumière (14H/24H) et d'humidité (60 à 80%), les cultures sont effectuées dans des pots de 22,5 cm de diamètre contenant 5 litres de terreau universel (NF U 44-571, 23% de matière organique) et 1,35 g de graine du ray-grass. Les pots sont conservés dans ces conditions durant un mois. Chaque fois que les plants de ray-grass atteignent 10 à 12 cm de hauteur, ils sont coupés en

leur milieu afin de les renforcer. Les plants sont régulièrement arrosés tous les deux jours avec une dose de 250 ml d'eau ordinaire par pot. Les teneurs en PGE du terreau sont vérifiées car un transfert de PGE du sol vers la plante est suspecté [7]. Elles sont de 0,25 ; 2,1 et 18,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ MS respectivement pour le Pt, Rh et Pd.

2.2. Choix de la parcelle fourragère

La parcelle fourragère retenue fait partie du Domaine Expérimental (La Bouzule) de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires (ENSAIA) de Nancy (France). Ce domaine comporte 9 parcelles fourragères réparties sur une surface totale de 61 ha. Notre choix s'est porté sur cette parcelle à cause de sa proximité et de sa position par rapport à la route nationale 74 (RN 74), route émettrice de PGE avec un trafic moyen journalier de 7200 véhicules. Elle s'étend sur une surface d'environ 3 ha sur deux sites (RN 74 nord et RN 74 sud) séparés face à face par la RN 74. La partie nord se trouve en déblai par rapport à la route, et ne comporte pas de grillage. Elle est bordée à intervalles réguliers (environ une dizaine de mètres) par 4 arbres de 5 - 6 m de haut. Le côté sud est grillagé et bordé à l'extrémité Est par une friche arbustive ; la topographie est d'abord à plat, puis en pente en s'éloignant de la route (Fig. 1a).

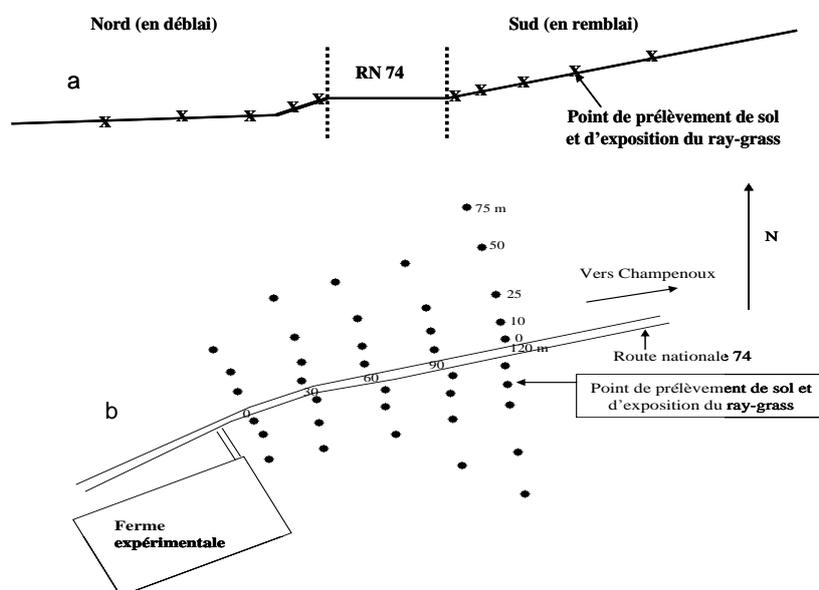


Figure 1 : (a) Profil de la parcelle fourragère de part et d'autre de la route nationale 74 (RN 74); (b) Localisation de pots de ray-grass et de points de prélèvement des échantillons de sol sur toute la parcelle fourragère. Les positions sont déterminées par GPS.

2.3. Mise en place des pots de ray-grass et prélèvements des échantillons

Les pots de ray-grass sont placés dans la parcelle fourragère selon le dispositif indiqué à la figure 1b. Les pots sont disposés sur des transects distant de 30 m l'un de l'autre. Sur chaque transect, les pots sont placés à 0 m (le plus près possible de la route), 10 m, 25 m, 50 m et jusqu'à 75 m. Nous obtenons un maillage permettant ensuite de procéder au traitement spatialisé. Les pots de ray-grass sont exposés sur cette parcelle durant 4 semaines compte tenu de nos travaux précédents sur le dépôt de PGE sur le ray-grass [11].

En outre, des échantillons des sols sont prélevés à tous les endroits où les pots de ray-grass ont été placés sur le site d'exposition. Pour chaque échantillon, nous avons prélevé 500 g de sol sur une profondeur de 0 à 2 cm.

2.4. Localisation par GPS des positions de pots sur la parcelle

Utilisant l'appareil GPSmap 60C (marque Garmin), nous avons déterminé les coordonnées UTM (Universel Transverse Mercator) pour chaque position de pot. Les coordonnées UTM fournis par le GPS permettent de localiser une position ou un emplacement donné. La localisation des pots de ray-grass sur la parcelle fourragère à l'aide des coordonnées GPS est donnée à la figure 1b.

2.5. Préparation et dosage des échantillons

Après prélèvement, les échantillons d'herbe et de sol sont mis séparément à sécher dans un phytotron réglé à 30°C pendant 5 jours et sont broyés en petits morceaux de 2 mm. L'extraction et le dosage de PGE ont été réalisés par le Laboratoire de Pyrénées (Lagor, France) selon la norme NF EN ISO 17294-2.

Après séchage, les échantillons d'herbe et de sol sont minéralisés dans un système fermé avec chauffage aux micro-ondes ETHOS 1600 de Thermoélectron. Une prise d'essai de 1 g est prélevée et placée dans le récipient de digestion. 2,5 ml d'acide nitrique 69%, 1 ml d'eau oxygénée 30% et 5 ml d'eau déionisée sont ajoutés par la suite. Après agitation, le mélange est laissé au repos jusqu'à l'arrêt de toute réaction visible. En général, il est préférable de laisser agir 12 heures pour que la digestion commence à froid et éviter ainsi la dépressurisation lors du chauffage. Le bouchon est fermé et les réacteurs sont placés dans le micro-onde. Après le lancement du programme de la digestion, une montée progressive de la température est effectuée pour arriver à un palier de minéralisation de 160°C. Ce palier est maintenu pendant 15 minutes. A la fin de digestion, le minéralisat est repris dans une fiole jaugée de 25 ml.

L'analyse est effectuée par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP/MS) VARIAN UltraMass utilisant des étalons internes : Iridium 194 pour le Pt (194-195-196-198); Inadium 115 pour le Pd (106-108) et pour le Rh (104-105). Les limites de quantification sont de 0,20 µg/kg MS pour le Pt et le Rh, et de 0,5 µg/kg MS pour le Pd.

2.6. Exploitation des résultats

2.6.1. Exploitation statistique

Les concentrations moyennes de Pt, Pd et Rh obtenues à différentes distances de la route (0, 10, 25, 50 m) sont analysées statistiquement en utilisant la procédure GLM (General Linear Model) du Logiciel SAS. Le seuil de signification est de 5% ($P < 0,05$).

2.6.2. Utilisation du logiciel Système d'informations géographiques (SIG MapInfo)

Le SIG MapInfo attribue à chaque coordonnée UTM, les concentrations de PGE correspondantes. Il permet de géoréférencer les niveaux d'exposition en PGE sur toute la parcelle à partir des concentrations mesurées dans le ray-grass ou dans le sol (emplacement par emplacement). Cela permet de tracer des courbes ou des classes de même niveau de pollution ou « isopols » par des mesures d'interpolation entre les concentrations de même valeur. Ce traitement permet d'obtenir une représentation par coloris continu.

3. Résultats et discussion

3.1. Evolution des concentrations et du profil en PGE du ray-grass et de sol en fonction de la distance à la route

Le tableau I donne les concentrations moyennes de PGE (moyennes de valeurs obtenues à la même distance) dans le ray-grass et dans le sol en fonction de la distance à la route (0, 10, 25 et 50 m). Pour le Pd, les concentrations obtenues dépassent largement les valeurs du fond géochimique du Pd, qui sont considérées comme inférieures à 1 µg/kg [14]. Dans le ray-grass et dans le sol, les concentrations de Pt ou de Rh ne décroissent pas significativement avec l'augmentation de la distance à la route. Cela pourrait s'expliquer par des niveaux de concentrations très faibles du Pt et du Rh détectés et de ce fait, n'ont pas permis de mettre en évidence l'effet de la distance. Toutefois, les valeurs de concentrations de Pt (0,2 à 0,3 µg/kg) et de Rh (1,5 à 1,8 µg/kg MS) obtenues dans le ray-grass sont 10 à 90 fois supérieures aux teneurs détectées dans de l'herbe (0,02 µg/kg MS) collectée loin de toute source de contamination [5], suggérant une influence du trafic automobile sur la contamination de fourrages par les PGE.

La plus forte baisse de concentrations de PGE dans le ray-grass a été obtenue avec le Pd dont les concentrations varient de 17,3 à 10,6 µg/kg MS. Une tendance similaire a été observée pour le sol où les concentrations de Pd décroissent de 30,5 à 15,1 µg/kg MS entre 0 et 50 m de la route. En effet les concentrations de Pd du ray-grass et de sol décroissent significativement de 39% et de 50% respectivement entre 0 et 50 m de la route. Dans des mousses, une baisse similaire de concentrations de PGE a été obtenue avec l'augmentation de la distance à la route [15].

Le profil de PGE du ray-grass (tableau II) varie en fonction de la distance à la route. Le Pd est l'élément majoritaire quelque soit la distance considérée et pour les deux matrices (sol et herbe). Il représente entre 85% et 89 % des concentrations totales de PGE. La part de Rh dans la concentration totale de PGE du ray-grass se situe entre 9,4% et 12,5%. Quelque soit la distance, le Pt est le composé minoritaire ; il représente 1,4 à 2,04% de la concentration totale de PGE. Les fortes valeurs de concentrations de Pd obtenues pour le ray-grass et pour le sol ne sont pas surprenantes ; cela pourrait s'expliquer par les propriétés des composés de Pd, qui sont plus solubles et plus mobiles dans l'environnement que les composés de Pt et de Rh [16], et aussi par les changements récents dans l'utilisation du Pd dans les convertisseurs catalytiques d'automobile, où la tendance a été de remplacer le très coûteux Pt par le Pd. Ainsi, les concentrations de Pd dans l'environnement ont augmenté durant ces dix dernières années [17]. Nos résultats montrent clairement que la contamination en PGE est favorisée par la proximité de la route et démontrent un risque potentiel de pollution de fourrages et de sols par les PGE.

Tableau I : Concentrations moyennes des éléments du groupe platine (PGE) dans le ray-grass et dans le sol en fonction de la distance à la route. Les concentrations sont exprimées en µg/kg de matière sèche. a, b, c pour chaque ligne, les valeurs de concentrations avec de lettres différentes sont significativement différentes, P<0,05. NS: pas de variation significative de concentrations entre 0 et 50 m

Distance PGE	0 m	10 m	25 m	50 m	Pourcentage de décroissance entre 0 - 50 m
Ryegrass					
Rh	1.8 a	1.5 a	1.5 a	1.6 a	NS
Pt	0.3 a	0.2 a	0.3 a	0.2 a	NS
Pd	17.3 a	14.1 b	11. a	10.6 c	39%
Sol					

Pt	3.9 a	3.5 a	2.8 a	2.4 a	NS
Pd	30.5 a	26.4 a	26.0 a	15.1 b	50%

Tableau II : Distribution de PGE (en $\mu\text{g}/\text{kg}$ et en %) dans le ray-grass en fonction de la distance à la route

Distance (mètre)	Pd		Rh		Pt		Somme PGE	
	$\mu\text{g}/\text{kg}$	%	$\mu\text{g}/\text{kg}$	%	$\mu\text{g}/\text{kg}$	%	$\mu\text{g}/\text{kg}$	%
0	17,31	89,18	1,83	9,43	0,27	1,39	19,41	100
10	14,09	89,02	1,51	9,53	0,23	1,45	15,83	100
25	11,0	86,2	1,5	11,75	0,26	2,03	12,76	100
50	10,6	85,41	1,6	12,89	0,21	1,69	12,41	100

3.2. Cartographie du niveau de pollution en PGE du ray-grass et du sol à l'échelle d'une exploitation agricole

La figure 2 montre les cartes de répartition des concentrations de Pd du ray-grass et du sol dans une parcelle fourragère. 5 classes de concentrations décroissantes symbolisées par 5 couleurs différentes (rouge, jaune, vert, bleu clair et bleu foncé) ont servi à établir ces cartes de pollution. Ces cartes révèlent que la pollution en Pd est détectable sur une bande d'au moins 50 m de part et d'autre de la route. Pour le Pt et le Rh, aussi bien dans le sol que dans l'herbe, la distribution de leurs concentrations dans la parcelle fourragère est hétérogène : les différentes classes de concentrations ne se démarquent pas en fonction de la distance à la route.

L'analyse des cartes de répartition de Pd montre les premiers résultats de cette nature à l'échelle d'une exploitation agricole : les teneurs en Pd de l'herbe et du sol les plus importantes s'observent le plus près de la route (entre 0 et 10 m). En effet pour la première fois, le dépôt de Pd sur le ray-grass et sur le sol est spatialisé à l'échelle de toute une parcelle fourragère et confirme la décroissance des concentrations, obtenue avec les transects. Les valeurs élevées de concentrations ont été obtenues entre 0 et 10 m de la route avec un maximum atteignant $23,5 \mu\text{g Pd}/\text{kg MS}$ pour le ray-grass et $83,6 \mu\text{g Pd}/\text{kg}$ pour le sol. La distribution décroissante dans la parcelle fourragère de concentrations de Pd du ray-grass avec l'augmentation de la distance à la route a été observée de part et d'autre de la route nationale. La situation est la même pour les concentrations de Pd de sol : une baisse des concentrations est observée de part et d'autre de la voie routière avec l'éloignement de la route. En analysant la répartition de Pd de deux côtés de la route, les échantillons du ray-grass et du sol prélevés du côté nord de la route ont révélé des concentrations élevées par rapport aux échantillons prélevés du côté sud de la route suggérant les effets de la topographie et de vents dominants de direction sud-ouest. En effet le côté nord se trouvant en déblai, a entraîné ainsi une accumulation élevée de polluants à l'intérieur de celui-ci et par conséquent une dispersion faible des polluants aux alentours. Aussi contrairement aux polluants gazeux qui se diffusent rapidement, la dispersion de polluants particulaires (PGE) est liée à leur taille et à leur poids moléculaire : une partie est précipitée à la surface de la route, le reste est dispersé par le vent à proximité immédiate de la route. Le vent de par sa direction et sa vitesse peut avoir une influence sur la répartition de PGE [18]. Les cartes montrent que le dépôt de Pd dans le sol et dans le ray-grass a lieu principalement entre 0 et 10 m de la route.

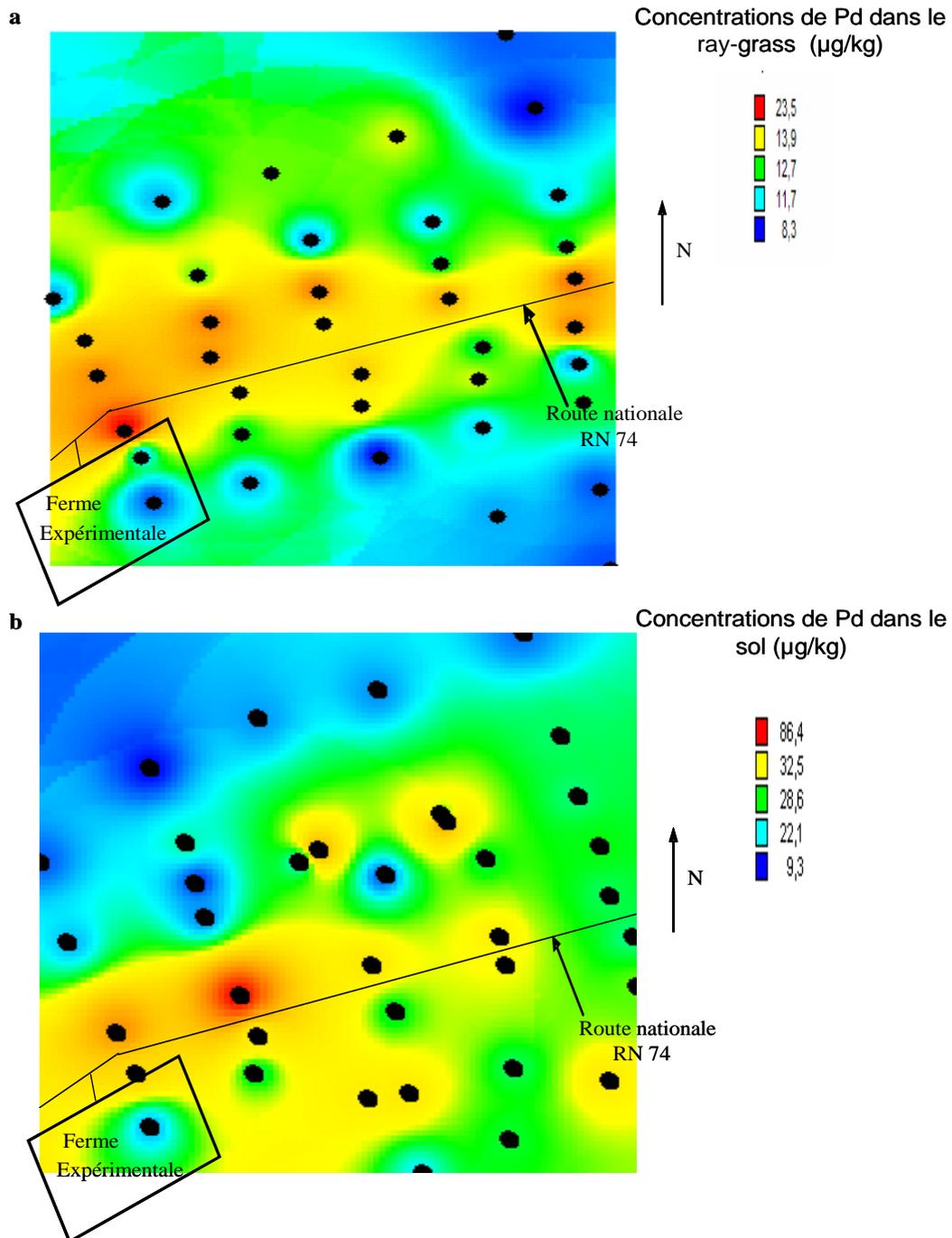


Figure 2 : Spatialisation du dépôt de Pd sur le ray-grass (a) et sur le sol (b) à l'échelle d'une exploitation agricole traversée par une route nationale. Relation entre les valeurs de concentration et la distance à la route. Noter l'adéquation entre les valeurs élevées de concentrations de Pd et la proximité de la route

Conclusion

La spatialisation de niveaux de pollution des fourrages et des sols par les PGE réalisée à l'échelle d'une exploitation agricole a montré que l'augmentation de la distance à la source d'émission (RN 74) entraîne une baisse significative des concentrations de Pd aussi bien dans le ray-grass que dans le sol. Cependant, la diminution de la concentration de Pd dans le sol (50%) est supérieure à la baisse de concentration de Pd dans le ray-grass (39%). Les cartes de

répartition de Pd et de HAP à l'échelle de l'exploitation agricole confirment pour la première fois ces résultats.

Les résultats ont révélé que la contamination en PGE est favorisée par la proximité de la route et démontrent clairement un risque de pollution de fourrages et de sols par les PGE. La distance d'impact se décèle jusqu'à une bande d'au moins 50 m de part et d'autre de la route. Toutefois, la contamination majeure a lieu au plus près de la route (0 – 10 m). Comme il est connu que les PGE en particulier le Pd, sont détectés dans le lait, le risque potentiel pour les ruminants pâturant en bord de voies routières semble se limiter à une bande de 10 m de part et d'autre de la route. En perspective, il serait souhaitable de faire la spatialisation des autres polluants et sur différentes espèces fourragères pour mieux cerner le risque d'exposition des ruminants.

Références bibliographiques

- [1] Barefoot R. R., 1999 - Distribution and speciation of platinum group elements in environmental matrices. *Trends Anal. Chem.* 18: 702-707.
- [2] Barbante C., Veyseyre A., Ferrari C., Van de Velde K., Morel C., Capodaglio G., Cescon P., Scarponi G., Boutron C., 2001 - Greenland snow evidence of large scale atmospheric contamination for platinum, palladium and rhodium. *Environ. Sci. Technol.*, 35: 835-839.
- [3] Djingova R., Kovacheva P., Wagner G., Markert B., 2003 - Distribution of platinum group elements and other traffic related elements among different plants along some highways in Germany. *Sci. Total Environ.*, 308: 235–247.
- [4] Ely J.C., Neal C., Kulpa C., Schneegurt M., Seidler J., Jain J., 2001 - Implications of platinum-group element accumulation along US roads from catalytic-converter attrition, *Environ. Sci. Technol.*, 35: 3816-3822.
- [5] Helmers E., Mergel N., 1998 - Platinum and rhodium in polluted environment: studying the emissions of automobile catalysts with emphasis on the application of CSV rhodium analysis. *J. Anal. Chem.*, 362: 522-528.
- [6] Pallas J. E., Jones J. B., 1978. - Platinum uptake by horticultural crops. *Plant Soil*, 50: 207-212.
- [7] Schäfer J., Hannker D., Eckhardt J. D., Stuben D., 1998 - Uptake of traffic related heavy metals and platinum group elements (PGE) by plants. *Sci Total Environ.*, 215: 59-67.
- [8] Gebel T., Lantzsch H., Plesow K., Dunkelberg K., 1997- Genotoxicity of platinum and palladium compounds in human and bacterial cells. *Mutat. Res.* 389: 183-190.
- [9] Castelain P. Y., Castelain M., 1987 - Contact-dermatitis to palladium. *Contact Dermatitis* 16: 46-46.
- [10] Bünger J., Stork J., Stalder K., 1996 - Cyto- and genotoxic effects of co-ordination complexes of platinum, palladium and rhodium in vitro. *Int Arch Occup Environ Health* 69: 33-38.
- [11] Tankari Dan-Badjo A., Crépineau C., Soligot C., Feidt C., Rycken G., 2007 - Deposition of platinum group elements and polycyclic hydrocarbons on ryegrass exposed to

- vehicular traffic. *Agron. Sustain. Dev.*, 27: 261-266.
- [12] Garrec J. P., Van Haluwyn C., 2002 - Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Tec. et Doc, Paris, 117 p.
- [13] Klumpp A., Ansel W., Klumpp G., Belluzzo N., Calatayud V., Chaplin N., Garrec J. P., Gutsche H. J., Hayes M., Hentze H. W., Kambezidis H., Laurent O., Penuelas J., Rasmussen S., Ribas A., Ro-Poulsen H., Rossi S., Sanz M. J., Shang H., Sifakis N., Vergne P., 2002 - EuroBionet: A Pan – European Biomonitoring Network for Urban Air Quality Assessment. *Environ. Sci. Pollut. R.*, 9: 199–203.
- [14] Wedepohl, K.H., 1995 - The composition of the continental crust. *Geochim Cosmochim Acta*, 59: 1217-32.
- [15] Zechmeister H. G., Hagendorfer H., Hohenwallner D., Hanus-Illnar A., Riss A., 2006 - Analyses of platinum group elements in mosses as indicators of road traffic emissions in Austria. *Atmos. Environ.*, 40: 7720-7732.
- [16] Moldovan M., Rauch S., Gómez M., Palacios M. A., Morrison G. M., 2001 - Bioaccumulation of palladium, platinum and rhodium from urban particulates and sediments by the freshwater isopod *Asellu*. *Water Res.* 35: 4175-4183.
- [17] Zereini F., Skerstupp B., Alt F., Helmers E., Urban H., 2007 - Geochemical behaviour of platinum-group elements (PGE) in particulate emissions by automobile exhaust catalysts: experimental results and environmental investigations. *Total Environ.* 7: 37-146.
- [18] Schäfer J., Puchelt H., 1998 - Platinum-Group-Metals (PGM) emitted from automobile catalytic converters and their distribution in road side soils. *J. Geochem. Explor.*, 64: 307-314.