

Transport du linuron, de l'imidaclopride et du bromure au travers de colonnes de sol et de lysimètres drainants

Bekolo Ndongo ⁽¹⁾, Gilles D. Leroux ⁽¹⁾, Josée Fortin ⁽²⁾

⁽¹⁾ Département de Phytologie. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation. Université Laval. G1K7P4 Québec (Canada).

⁽²⁾ Département des Sols et Génie agroalimentaire. Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation. Université Laval. G1K7P4 Québec (Canada).

Reçu le 15 juillet 1999, accepté le 26 novembre 1999.

Des colonnes de sol intact (65 cm profondeur × 15 cm diamètre) ont été utilisées en serre pour étudier l'effet de la pluviométrie et du mode d'application sur le lessivage du linuron et de l'imidaclopride par les eaux de percolation. Deux régimes de pluie (288 mm et 496 mm) répartis sur une période d'un mois et deux modes d'application (application séparée ou combinée des deux pesticides) ont été étudiés. Le linuron n'a pratiquement pas été lessivé au-delà de 65 cm de profondeur de colonne de sol. L'imidaclopride a été lessivé en quantité trace au-delà de 65 cm de profondeur (moins de 1,5 % de la masse de matière active appliquée). En champ, le linuron a été détecté dans les eaux de percolation collectées au-delà de 1 m de profondeur de sol des lysimètres drainants à des concentrations inférieures à 4 µg/L. Celles de l'imidaclopride étaient inférieures à 3 µg/L. Le bromure a été lessivé à des quantités variant de 62 à 88 % de la masse appliquée sur les colonnes de sol en serre ou les lysimètres drainants en champ. L'éluion du bromure dans les deux cas suggère l'existence de voies préférentielles d'infiltration.

Mots-clés. Transport, sol, linuron, imidaclopride, bromure.

Transport of linuron, imidacloprid and bromide along soil columns and field lysimeters. Undisturbed soil columns (65cm high × 15 cm diam.) were used in a greenhouse experiment to study the effect of rainfall and mode of application on leaching pattern of linuron and imidacloprid. Two simulated rainfall amounts (288 mm and 496mm) distributed over a one month period and two modes of application (sole or combined application of the two pesticides) were studied. Linuron did not leach below 65 cm of the soil columns. Imidacloprid was leached in trace amount below 65 cm soil columns (less than 1,5% of applied a.i.). Under field conditions, linuron was detected in percolated water below 1m depth lysimeters at concentration less than 4µg/L. Imidacloprid was detected at concentration less than 3 µg/L in percolated water below 1 m depth. Bromide ion was leached at 62 to 88% of the applied mass on soil columns or field lysimeters. The elution pattern of bromide ion suggests the presence of preferential flow paths.

Keywords. Transport, soil, linuron, imidacloprid, bromide.

1. INTRODUCTION

L'eau souterraine est une ressource inestimable qui prend de plus en plus une part importante dans la satisfaction des besoins d'eau destinée à la consommation humaine (Di, Aylmore, 1997).

La protection préventive de cette ressource doit être basée sur les données scientifiques fiables se rapportant au risque de contamination de la nappe d'eau souterraine par les pesticides (Kördel *et al.*, 1991). Ce risque est lié à la rémanence et au transport des matières actives à travers le profil de sol.

Différents pesticides ont été détectés durant les dernières années dans l'eau souterraine des pays d'Europe et aux États-Unis (Cohen *et al.*, 1986 ; Kookana, Aylmore, 1994). Ces résultats montrent la nécessité de conduire des études prospectives et *in situ* sur le

potentiel des pesticides à migrer vers les couches profondes du sol.

L'objectif de ce travail était de :

– Caractériser à l'aide d'un traceur (ion bromure), le mouvement de l'eau à travers les colonnes de sol intact en serre et les lysimètres drainants en champ.

– Étudier en serre et en conditions naturelles le transfert de deux pesticides (linuron et imidaclopride) ayant des potentiels théoriques de lessivage (PTL) différents selon l'indice GUS (Gustafson, 1989). L'indice GUS du linuron est de 2,31 (PTL moyen, Koc de 400 à 600, DT50 de 60 jours), celui de l'imidaclopride est de 3,42 (PTL élevé, Koc de 160 à 400, DT50 de 140 à 180 jours) (Anonyme, 1996).

– Comparer le mouvement des deux pesticides dans le sol à celui d'un soluté inerte (ion bromure), totalement soluble et non adsorbé par cette matrice.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Excavation des colonnes de sol

Vingt-quatre colonnes de sol exempt de résidus de linuron ont été excavées en novembre 1996 dans un champ (PNF48) où venait d'avoir lieu la récolte de pommes de terre. Le sol de ce champ est de texture sableuse avec une teneur en matière organique variant entre 3,1 et 3,8 % dans les dix premiers centimètres de profondeur du profil de sol. Les colonnes de sol ont été extraites sur une surface de 300 m² à l'aide de tuyaux de PVC de 15 cm de diamètre et 65 cm de profondeur. Les parois internes des tuyaux étaient enduites d'une mince couche de téflon pour limiter l'adsorption des pesticides au PVC. Une des sections du tuyau de PVC était taillée en biseau pour faciliter la pénétration dans le sol. Les tuyaux étaient enfoncés dans le sol à l'aide d'une masse que l'on frappait sur une latte de bois reposant sur la section supérieure du tuyau. Le sol autour du tuyau de PVC enfoncé était alors dégagé en vue de récupérer les colonnes de sol. La compaction estimée par la différence de niveau entre le sol à l'intérieur et le sol à l'extérieur de la colonne était négligeable. Les colonnes de sol ont été conservées à -20 °C jusqu'au moment de leur utilisation pour l'expérimentation en serre.

2.2. Dispositif expérimental en serre et application des pesticides

Les colonnes de sol étaient installées verticalement dans deux châssis de bois comprenant chacun deux planches horizontales protégées par une couche de peinture à l'huile (**figure 1**). Des ouvertures circulaires ont été aménagées dans les planches de manière à encastrent les colonnes soutenues au niveau de la planche du bas par des entonnoirs. Le sol au bas des colonnes était retenu par de la laine de roche et un grillage en aluminium. Les récipients de collecte des eaux de percolation étaient installés sous les entonnoirs. De la silicone a été utilisée pour assurer l'étanchéité entre le bois et la paroi externe du PVC et éviter ainsi toute infiltration indésirable de l'eau. Des films plastiques noirs étaient utilisés pour isoler les récipients de collecte des eaux de pluie ou pour isoler certaines sections de colonnes de sol en fonction des exigences du protocole de simulation de la pluviométrie. La calibration des régimes de pluie a été effectuée à l'aide de béciers ayant la même section d'ouverture que les tuyaux de PVC. La simulation de pluie était assurée par une rampe de pulvérisation montée au-dessus du châssis à colonnes. Toutes les colonnes de sol ont été saturées avec de l'eau avant l'application des deux pesticides.

Le linuron, l'imidaclopride ainsi que le traceur (ion bromure) ont été appliqués à l'aide d'un pulvérisateur

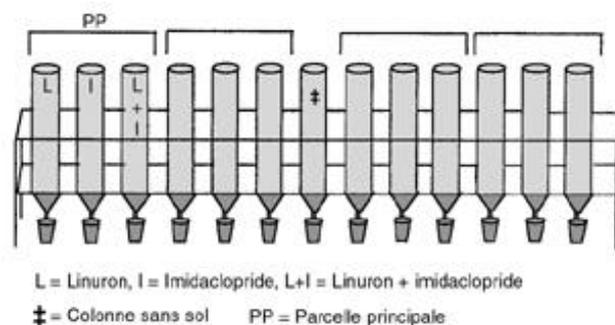


Figure 1. Dispositif d'installation des colonnes de sol en serre — *Experimental design for soil columns set up in greenhouse.*

manuel. Les formulations commerciales utilisées étaient le Lorox® DF50 pour le linuron, l'Admire® (240 g de m.a./L) pour l'imidaclopride. Les doses d'application étaient de 4000 g de m.a./ha pour le linuron, 72 g de m.a./ha pour l'imidaclopride et 32 kg de Br⁻/ha sous forme de KBr pour le brome.

Les facteurs d'étude comprenaient deux régimes de pluviométrie (haut et bas) et deux modes d'application de la matière active (application séparée ou combinée des deux pesticides). En théorie, les adjuvants de formulation étant différents, on ne peut exclure des influences mutuelles. Le bromure était utilisé comme traceur pour caractériser le mouvement de l'eau.

Un dispositif expérimental en-tiroir a été utilisé avec les régimes de pluviométrie en parcelles principales et les modes d'application randomisés en sous-parcelles. Les unités expérimentales ont été répétées quatre fois. Les échantillons ont été prélevés à 5, 12, 18 et 28 jours après l'application des pesticides et du bromure. Les quantités d'eau appliquées et percolées au travers des colonnes de sol à différentes dates de simulation et pour les deux régimes de pluviométrie sont rapportées au **tableau 1**.

Tableau 1. Quantité d'eau (mm) appliquée ou ayant percolé à travers les colonnes de sol en fonction du régime de pluie et de la date de simulation — *Water quantity (mm) applied or percolated along soil column in relation with rainfall regime and date of simulation.*

Date	Pluviométrie							
	Bas régime (288 mm)				Haut régime (496 mm)			
(JAA) ^a	Appliquée		Percolée		Appliquée		Percolée	
	Moy. ^b	CV ^c	Moy.	CV	Moy.	CV	Moy.	CV
5	82,7	5	60,4	18	96,6	5	76,6	14
12	66,4	7	52,5	10	154,7	7	140,6	9
18	67,2	5	51,2	8	116,2	3	106,6	12
28	71,2	4	56,1	9	128,3	5	105,3	15
Total	287,5	5	220,2	4	495,8	9	429,1	5

^a Jours après application des pesticides; ^b Moyenne de 12 répétitions (mm); ^c Coefficient de variation (%).

Les analyses statistiques portant sur les concentrations des résidus de pesticides dans les eaux de percolation à différentes dates de simulation ont été réalisées selon la procédure GLM de SAS (SAS, 1988).

2.3. Description des champs étudiés et des lysimètres drainants

Cinq champs sur sols sableux et appartenant à différents producteurs de pomme de terre ont été sélectionnés dans la région de Portneuf (Québec). Le comté de Portneuf est situé à 25 km à l'ouest de la ville de Québec (Canada). Quinze lysimètres drainants à profil reconstitué (trois par champ) de 1 m × 1 m × 1 m (**figure 2**) ont été installés en 1995 dans les cinq champs pour permettre la collecte et l'analyse des eaux de percolation au delà de la rhizosphère.

En 1996, quatre des champs sélectionnés étaient sous culture de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), le cinquième était sous culture d'orge (*Hordeum vulgare* L.). La pluviométrie mensuelle cumulée de l'année 1996 (saison de culture de mai à octobre) était comparable à celle d'une année normale (**figure 3**).

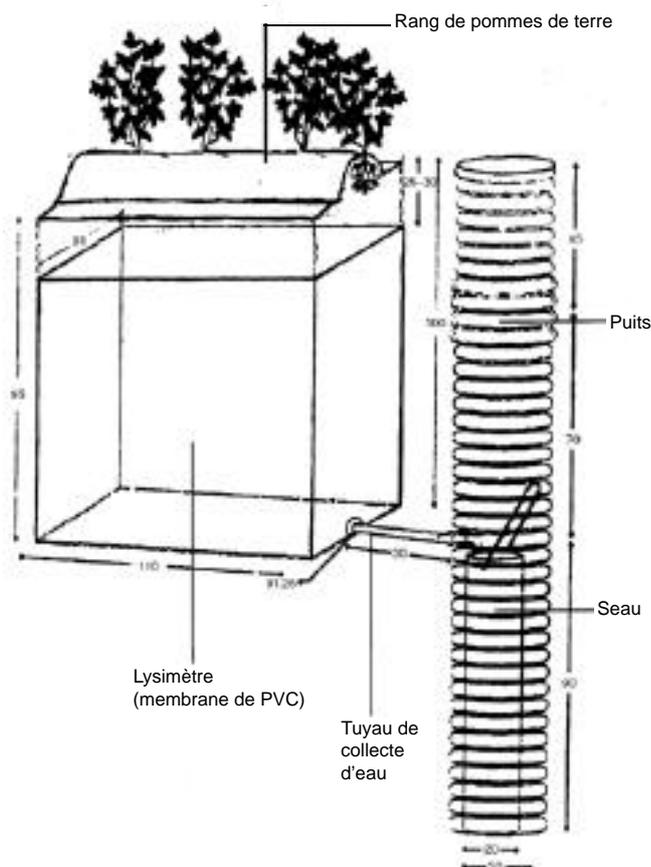


Figure 2. Lysimètre drainant traversé par un rang de pomme de terre (unité de mesure en cm) — *Field lysimeter crossed by potato ridge (length unit in cm).*

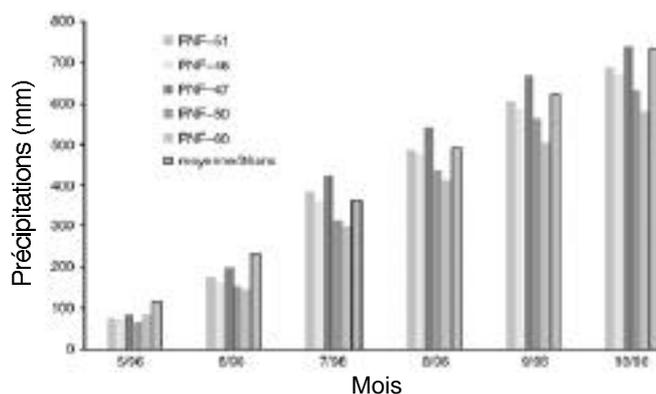


Figure 3. Précipitations mensuelles cumulées (mm) dans cinq champs (PNF#) de production de pomme de terre à Portneuf et moyenne de 26 ans pour la région — *Monthly total rainfall (mm) in five potato production fields at Portneuf (PNF#) and 26 years average for the region.*

Les différentes opérations culturales et traitements phytosanitaires étaient réalisés par les agriculteurs selon leur routine usuelle afin de pouvoir collecter des données reflétant autant que possible la réalité agricole. Les doses d'application du linuron en champ étaient comprises entre 1000 et 1500 g de m.a./ha. Celle de l'imidaclopride était de 48 g de m.a./ha. Le bromure a été appliqué à la dose de 32 kg de Br⁻/ha. Le champ sous culture d'orge a été traité à l'échelle du lysimètre.

2.4. Collecte des eaux de percolation

Les eaux de percolation dont l'importance dépend de la pluviométrie mais aussi des phénomènes d'évapotranspiration, sont recueillies au bas de chaque lysimètre. Les échantillons ainsi recueillis dans des contenants en verre sont transportés au laboratoire, conservés à -20 °C jusqu'à leur extraction dans les 48 heures suivant la collecte. Les extraits sont conservés à -20 °C jusqu'à l'analyse chromatographique.

2.5. Analyse des pesticides

Les échantillons d'eau ont été conservés à -20 °C dans des flacons en verre ambré et extraits dans les trois jours suivant leur collecte.

Les résidus du linuron dans les eaux de percolation étaient extraits et analysés en chromatographie en phase gazeuse (CPG) en suivant les protocoles d'extraction élaborés par le laboratoire d'analyses chimiques et physiques du Ministère de l'Agriculture et des Pêcheries du Québec (MAPAQ, 1996). Les méthodes de dosage ont été mis au point au laboratoire (Ndongo, 1999).

Les résidus d'imidaclopride dans les eaux de percolation étaient extraits et analysés en chromatographie liquide haute pression (CLHP) en suivant les protocoles d'extraction et de dosage mis au point par Ndongo (1999).

La détermination du bromure dans les eaux de percolation et dans le sol a été effectuée par chromatographie ionique au laboratoire des sols de la Faculté des Sciences de l’Agriculture et de l’Alimentation de l’Université Laval. Cette détermination a été réalisée selon le protocole décrit par O’Dell et al. (1984).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Caractérisation du mouvement de l’eau dans les colonnes de sol et les lysimètres drainants

La variation du mouvement de l’eau à travers les différentes colonnes de sol est exprimée par le profil d’élution du bromure (Br⁻) utilisé comme traceur (**figure 4**). L’élution précoce du traceur est observée avec certaines colonnes sous les deux régimes de pluie. Elle est également observée en champ à travers les lysimètres drainants, les patrons temporels d’élution montrant des distributions bimodales ou avec dissymétrie (**figure 5**). Cette élution précoce du Br⁻ suggère l’existence de voies préférentielles d’infiltration de l’eau et du traceur. Les taux de récupération du bromure dans les eaux de percolation sont de 71,6 ± 15,8 % et de 87,6 ± 22 % respectivement pour la pluie à basse intensité et la pluie à haute intensité. En champ (pluviométrie de 660 mm durant la saison de culture), ces taux varient de 62 à 80 % de la masse de bromure appliquée.

3.2. Lessivage du linuron à travers les colonnes de sol

L’analyse statistique (SAS, 1988) n’a pas montré de différence significative (P = 0,05) entre les régimes de pluie, les modes d’application ou les dates de simulation.

Le linuron a été appliqué sur les colonnes de sol à la dose de 4000 g de m.a./ha, soit le double de la dose recommandée sur pomme de terre.

L’analyse des eaux de percolation indique que le linuron n’a pas été lessivé au-delà de 65 cm de profondeur pour le sol des colonnes (**tableau 2**). La matière active a été détectée à des concentrations moyennes inférieures ou égales à 0,1 µg/L. L’existence de voies préférentielles d’infiltration pourrait expliquer la détection occasionnelle de ces quantités traces.

3.3. Lessivage de l’imidaclopride à travers les colonnes de sol

L’analyse de variance (P = 0,05) n’a démontré aucun effet significatif du régime de pluie ou du mode d’application sur le lessivage de l’imidaclopride par les eaux de percolation au delà de 65 cm de profondeur de colonne de sol.

Les concentrations résiduelles retrouvées dans les eaux de percolation varient de < 0,02 à 0,66 µg/L (**tableau 3**). Les concentrations ainsi mises en évidence

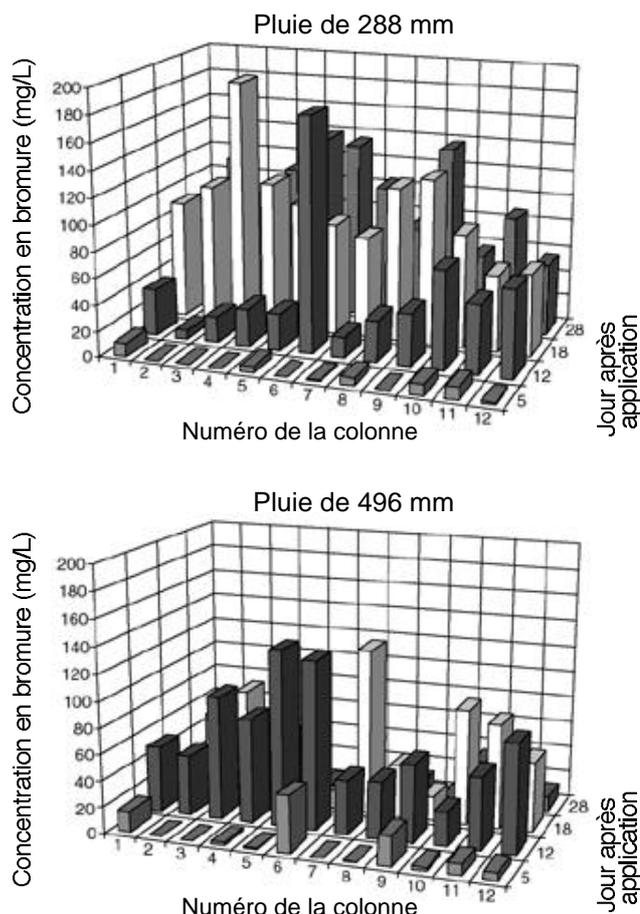


Figure 4. Concentration en bromure (mg/L) dans les eaux de percolation collectées à quatre dates de simulation pour deux régimes de pluviométrie (288 mm et 496 mm) — *Concentration of bromide (mg/L) in percolated water collected at four simulation dates for two rainfall regimes (288 mm and 496 mm).*

Tableau 2. Concentration moyenne (4 répétitions) de linuron (µg/L) dans les eaux de percolation à différentes dates de simulation en fonction du régime de pluviométrie et du mode d’application — *Mean concentration (4 duplicates) of linuron (µg/L) in percolated water collected at different simulation dates in relation with rainfall regime and mode of application.*

Dates (JAA ^a)	Pluviométrie							
	Bas régime		Haut régime					
	Linuron	L + I	Linuron	L + I				
5	< 0,1 ^b	0 ^c	0,1	200	< 0,1	0	0,1	200
12	< 0,1	0	< 0,1	0	< 0,1	0	< 0,1	0
18	< 0,1	0	< 0,1	0	0,1	200	< 0,1	0
28	< 0,1	0	< 0,1	0	0,1	200	< 0,1	0

L = Linuron ; I = Imidaclopride ; ^a Jours après application des pesticides ; ^b Limite de détection = 0,1 µg/L ; ^c Coefficient de variation (%).

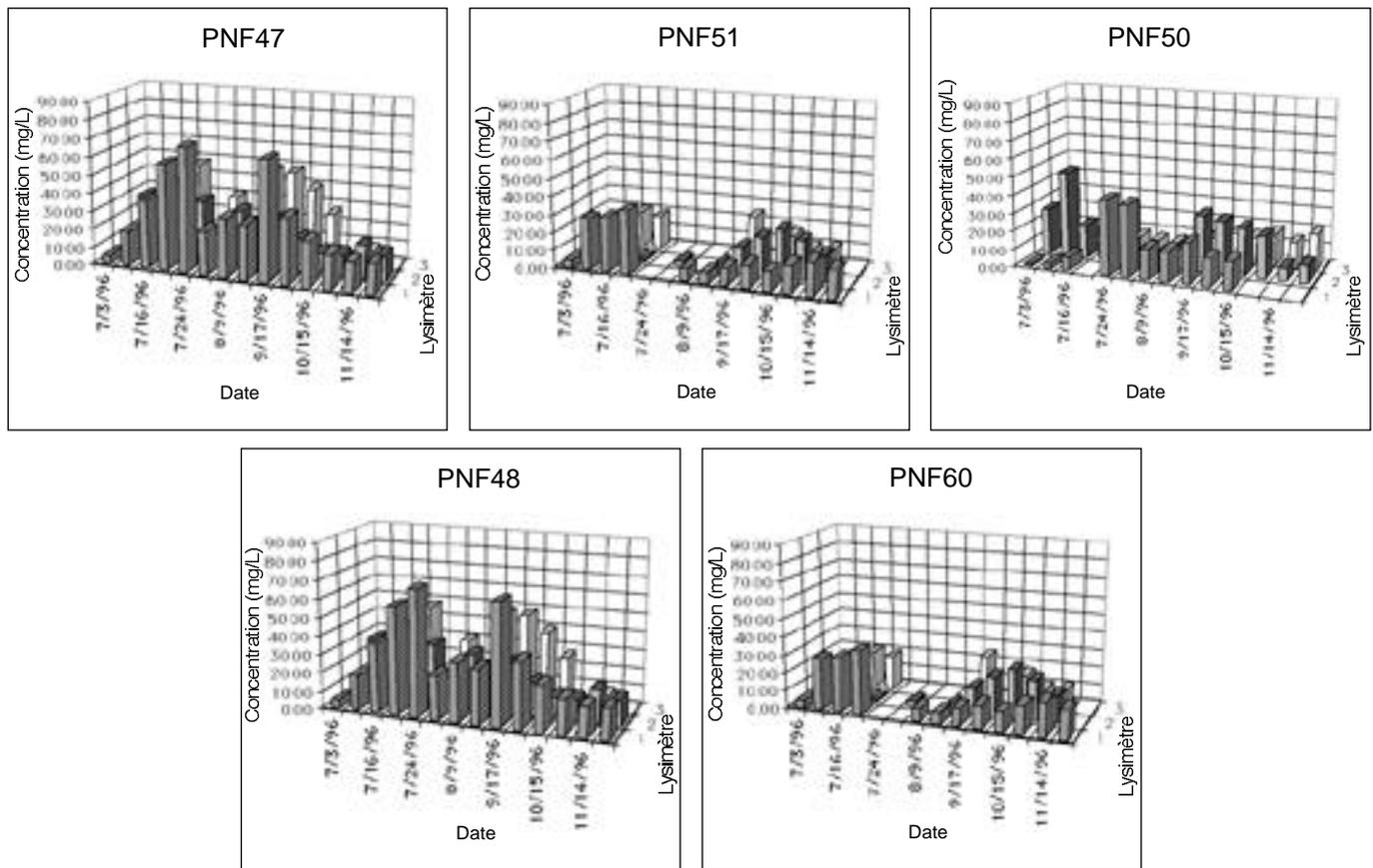


Figure 5. Concentration de bromure (mg/L) dans les eaux de percolation collectées à différents instants en deçà des lysimètres drainants installés dans quatre champs de pommes de terre et un champ d'orge (PNF60) — *Concentration of bromide (mg/L) in percolated water collected at different dates below field lysimeters installed in four potato fields and one barley field (PNF60).*

Tableau 3. Concentration d'imidaclopride ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux de percolation à différentes dates de simulation en fonction du régime de pluviométrie et du mode d'application (moyenne de 4 répétitions) — *Imidacloprid concentration ($\mu\text{g/L}$) in percolated water at different dates of simulation in relation with rainfall regime and mode of application (4 repetitions).*

Dates de simulation (JAA ^a)	Pluviométrie	Bas régime (288 mm)				Haut régime (496 mm)			
		Imidaclopride		L + I		Imidaclopride		L + I	
5	Moyenne	0,15	74 ^b	0,08	60	0,10	21	0,14	51
	Minimum	0,08		0,04		0,08		0,08	
	Maximum	0,32		0,14		0,14		0,23	
12	Moyenne	0,15	46	0,11	37	0,45	23	0,23	127
	Minimum	0,08		0,07		0,33		< 0,02	
	Maximum	0,25		0,16		0,59		0,66	
18	Moyenne	0,18	10	0,06	119	0,05	119	0,14	71
	Minimum	0,16		< 0,02 ^c		< 0,02		0,05	
	Maximum	0,21		0,14		0,12		0,28	
28	Moyenne	0,19	53	0,03	152	0,19	68	0,13	92
	Minimum	0,08		< 0,02		< 0,02		< 0,02	
	Maximum	0,29		0,1		0,29		0,29	

L = Linuron ; I = Imidaclopride; ^aJours après application des pesticides; ^b Coefficient de variation (%); ^c Limite de détection = 0,02 $\mu\text{g/L}$.

sont relativement constantes d'une simulation de pluie à l'autre.

Quel que soit le mécanisme réel de transport des faibles quantités de matière active détectées dans les eaux de percolation, celles-ci ne dépassent pas 1,5 % de la masse appliquée et ce indépendamment de la combinaison pluviométrie/mode d'application (**tableau 4**). Flury (1994) a résumé les données des études réalisées sur le transport des pesticides dans le sol. Il rapporte que les quantités lessivées au-delà de la rhizosphère varient en conditions normales d'application de < 0,1 à 1 % de la masse appliquée mais, qu'en cas de fortes pluies après application, ces quantités peuvent atteindre 5 % de la masse appliquée.

Tableau 4. Fraction de la masse appliquée d'imidaclopride (%) récupérée dans les eaux de percolation à différentes dates de simulation en fonction du régime de pluviométrie et du mode d'application (moyenne de 4 répétitions) — *Fraction of applied mass of imidacloprid (%) recovered in percolated water at different dates of simulation in relation with rainfall regime and mode of application (4 repetitions).*

Dates (JAA ^a)	Pluviométrie							
	Bas régime		Haut régime					
	I	L + I	I	L + I	I	L + I		
5	0,13	70 ^b	0,08	67	0,12	24	0,13	39
12	0,11	42	0,08	33	0,90	21	0,48	130
18	0,13	10	0,04	116	0,08	132	0,20	70
28	0,15	52	0,03	118	0,24	80	0,20	90
Total	0,52		0,23		1,34		1,01	

I = Imidaclopride ; L = Linuron ; ^a Jours après application des pesticides ; ^b Coefficient de variation (%).

3.4. Résidus de linuron dans les eaux de percolation en champ

Le linuron a été détecté à de faibles concentrations dans les eaux collectées au-delà de 1 m de profondeur des lysimètres drainants. Les toutes premières eaux de percolation collectées à la sortie de 6 lysimètres sur 15 ont permis de déterminer la présence inattendue de résidus de linuron à des concentrations pouvant atteindre 3,9 µg/L (**tableau 5**). Après cette élution précoce de la matière active, les analyses subséquentes des eaux montrent une période sans résidus détectables dans les eaux de percolation. Plus tard dans la saison (mi-septembre), la matière active se retrouve encore dans les eaux de percolation à des concentrations variant de < 0,1 à 1,8 µg/L (**tableau 5**). Il n'est pas exclu que cette élution tardive puisse s'expliquer par un transport préalable de la matière active par des voies préférentielles d'infiltration suivi de son transfert en profondeur à travers la matrice sol.

Jury *et al.* (1986) rapportent la présence de certains herbicides dans les strates profondes de certains sols en champ alors que ceux-ci étaient considérés comme peu mobiles à partir des essais de lessivage dans les colonnes de sol en laboratoire.

3.5 Résidus d'imidaclopride dans les eaux de percolation en champ

L'imidaclopride a été détecté dans les eaux de percolation collectées en 1996 au-delà de 1 m de profondeur de sol des lysimètres installés dans les cinq champs étudiés. Les concentrations retrouvées varient de < 0,02 à 2,53 µg/L (**tableau 6**).

Bastien et Madramooto (1991) ont analysé les eaux de percolation collectées à partir des drains installés à 1 m de profondeur des sols sableux sous culture de pomme de terre à St Léonard (Québec). Ils rapportent des concentrations de métribuzine atteignant 3,4 µg/L. La concentration maximale de métribuzine détectée dans les eaux de percolation collectées au-delà de 1 m de profondeur de profil de sol est comparable à celle de l'imidaclopride dans ce travail bien que les doses d'application des deux pesticides soient différentes. La métribuzine a un même potentiel théorique de lessivage que l'imidaclopride selon l'indice Gustafson (1989).

4. CONCLUSION

L'élution du bromure à travers les colonnes de sol intact en serre et les lysimètres drainants en champ suggère l'existence de voies préférentielles d'infiltration de l'eau. Ces voies sont moins marquées dans les colonnes de sol intactes. La masse de bromure lessivée au-delà de 65 cm de profondeur de colonnes de sol varie de 72 à 88 % selon la pluviométrie. Le linuron n'a pratiquement pas été lessivé au-delà de 65 cm de profondeur de colonnes de sol indifféremment de la pluviométrie ou du mode d'application. Les quantités d'imidaclopride lessivées au-delà de 65 cm de profondeur de colonnes de sol sont négligeables. Ces quantités se situent dans la fourchette de lessivage des pesticides établie par Flury en 1994.

En champ, 62 à 80 % de la masse appliquée de bromure a été lessivée au-delà de 1 m de profondeur de sol des lysimètres drainants. Les quantités lessivées de linuron et d'imidaclopride sont négligeables (concentration maximale détectée < 4 µg/L).

Cette différence dans le transport des trois solutés s'explique par leur différence de solubilité et d'adsorption. Le potentiel d'adsorption du linuron défini par le Koc est de 400 à 600 ; celui de l'imidaclopride est de 160 à 400 (Anonyme, 1996). L'ion bromure appliqué sous forme de KBr est totalement soluble et n'est pas adsorbé par le complexe d'échange du sol.

Tableau 5. Concentration de linuron ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux de percolation collectées à différentes dates en 1996 sous les lysimètres drainants installés dans cinq champs de la pomme de terre à Portneuf — *Linuron concentration ($\mu\text{g/L}$) in percolated water collected at different dates in 1996 below field lysimeters installed in five potato fields at Portneuf.*

Champs Dose appliquée	Lys.	Dates							
		26/6/96	22/7/96	2/8/96	20/8/96	19/9/96	2/10/96	1/11/96	1/12/96
PNF50 (10/6/96) ^a 1550 g m.a./ha	L1	n.a. ^c	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,3	0,3	n.a.	n.a.
	L2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,3	0,1	0,5	< 0,1
	L3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,2	0,2	0,6	0,1
PNF48 (29/5/96) 2200 g m.a./ha	L1	< 0,1	< 0,1	0,1	0,1	1,4	0,3	0,7	0,1
	L2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,2	1,6	0,3	0,5	0,2
	L3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	1,2	0,3	0,4	n.a.
PNF51 (31/5/96) 1500 g m.a./ha	L1	< 0,1	< 0,1	n.a.	0,2	1,5	0,6	0,5	0,1
	L2	2,1	0,1	< 0,1	0,1	1,2	0,1	0,6	n.a.
	L3	n.a.	< 0,1	< 0,1	n.a.	1,3	n.a.	0,6	0,2
PNF47 (30/5/96) 1000 g m.a./ha	L1	3,3	< 0,1	< 0,1	0,1	1,3	0,8	0,8	0,1
	L2	n.a.	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,8	0,7	0,8	0,2
	L3	2,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,6	0,9	n.a.	n.a.
PNF60 ^b (7, 19/6/96) 1000 g m.a./ha	L1	3,1	0,1	< 0,1	0,1	0,9	1,0	0,9	0,2
	L2	3,9	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,9	0,8	1,3	n.a.
	L3	2,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,9	0,8	1,0	n.a.

^a Date d'application ; ^b PNF60 était sous orge en 1996 après pomme de terre (traitement à l'échelle du lysimètre) ; ^c n.a. = non analysé.

Tableau 6. Concentration d'imidaclopride ($\mu\text{g/L}$) dans les eaux de percolation collectées à différentes dates en 1996 sous les lysimètres drainants installés dans cinq champs de pomme de terre à Portneuf — *Imidacloprid concentration ($\mu\text{g/L}$) in percolated water collected at different dates in 1996 below field lysimeters installed in five potato fields at Portneuf.*

Champs Dose appliquée	Lys.	Dates					
		26/6/96 ^b	22/7/96	2/8/96	20/8/96	2/10/96	1/11/96
PNF50 (5/7/96) ^a 48 g m.a./ha	L1	n.a. ^d	1,95	< 0,02	1,01	1,93	0,29
	L2	0,48	0,16	< 0,02	0,48	0,12	0,25
	L3	n.a.	0,09	0,13	0,06	0,02	0,07
PNF48 (5/7/96) 48 g m.a./ha	L1	0,04	< 0,02	0,03	< 0,02	0,11	< 0,02
	L2	0,03	0,03	0,06	< 0,02	0,09	< 0,02
	L3	n.a.	< 0,02	0,03	0,04	0,12	0,03
PNF51 (30/6/96) 48 g m.a./ha	L1	0,15	n.a.	n.a.	0,42	0,12	0,08
	L2	< 0,02	0,06	0,13	0,05	0,04	0,06
	L3	n.a.	0,07	n.a.	0,23	0,15	0,07
PNF47 (6, 17/7/96) 48 g m.a./ha	L1	0,19	0,07	n.a.	0,11	0,29	0,11
	L2	0,10	< 0,02	n.a.	0,04	0,05	0,04
	L3	< 0,02	n.a.	0,09	n.a.	0,05	< 0,02
PNF60 ^c (5/7/96) 48 g m.a./ha	L1	0,05	< 0,02	0,05	0,11	0,08	< 0,02
	L2	0,05	2,29	0,36	0,61	1,24	0,41
	L3	n.a.	2,53	0,45	0,69	0,32	0,06

^a Date d'application ; ^b Les résidus détectés à cette date sont issus des applications de 1995 ; ^c PNF60 était sous orge en 1996 après pomme de terre (traitement à l'échelle du lysimètre) ; ^d n.a. = non analysé.

Bibliography

- Anonyme (1996). Extension Toxicology Network (EXTOXNET); Pesticide Information Profiles Oregon State University. USA. [http://ace.orst.edu/cgi-bin/mfs/01/pips/linuron\(imidaclopride\).htm](http://ace.orst.edu/cgi-bin/mfs/01/pips/linuron(imidaclopride).htm)
- Bastien C., Madramooto CA. (1992). Presence of pesticides in agricultural runoff from two potato fields in Québec. *Canadian Water Resour. J.* **17** (3), p. 200–212.
- Cohen SZ., Eiden C., Lorber MN. (1986). Monitoring groundwater for pesticides. In Garner WY., Honeycutt RC., Nigg HN. (Eds). *Evaluation of pesticides in groundwater*. ACS symposium series, American Chemical Society Washington, D.C. **315**, p. 170–196.
- Di HJ., Aylmore LAG. (1997). Modeling the probabilities of groundwater contamination by pesticides. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **61**, p. 17–23.
- Flury M. (1994). *Experimental evidence of transport of pesticides through field soils – A review*. Report submitted to Ciba Ltd, Basel, Switzerland. 54 p.
- Gustafson DI. (1989). Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. *Environ. Toxicol. Chem.* **8**, p. 339–357.
- Jury WA., Elabd H., Resketo M. (1986). Field study of napropamide movement through unsaturated soil. *Water Resour. Res.* **22**, p. 749–755.
- Kookana RS., Aylmore LAG. (1994). Estimating pollution potential of pesticides to groundwater. *Aust. J. Soil Res.* **32**, p. 1141–1155.
- Kördel W., Henchen M., Klein WC. (1991). Experimental assessment of pesticide leaching using undisturbed lysimeters. *Pestic. Sci.* **31**, p. 337–348.
- MAPAQ (1996). Protocole d'analyse du linuron dans le sol et l'eau. In *Cahier de méthodes d'analyse MUKG-S et MUKG-E*. Division d'expertises et d'analyses chimiques et physiques. Québec - Canada : Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. p. 12–15.
- Ndongo B. (1999). *Lessivage et distribution spatio-temporelle du linuron et de l'imidaclopride dans les sols sableux sous culture de pomme de terre (Solanum tuberosum) à Portneuf (Québec)*. Thèse de PhD, Université Laval, Québec. 155 p.
- O'Dell JW., Pfaff JD., Gales ME., McKee GD. (1984). *The determination of inorganic anions in water by ion chromatography*. Method 300.0-EPA-600/4-84-017. USA.
- SAS Institute (1988). *SAS/STAT users guide. Release 6.03*. Cary, NC: SAS Inst. Inc., p. 549–640.

(13 réf.)