

Institut National Polytechnique  
de Lorraine.

\*\*\*\*\*

École Nationale Supérieure d'Agronomie  
et des Industries Alimentaires  
2, Avenue de la Forêt de Haye  
54505 Vandoeuvre-lès-Nancy

Agence de l'eau  
Rhin-Meuse

Centre National  
de la Recherche Scientifique

\*\*\*\*\*

Centre de Pédologie Biologique  
17, rue Notre Dame des Pauvres

54501 Vandoeuvre-lès-Nancy

**ÉTUDE DU TRANSFERT PAR LES EAUX DE DRAINAGE  
DE DIVERS PRODUITS PHYTOSANITAIRES  
DANS TROIS SOLS DE LORRAINE  
CAMPAGNE 1994-95**

**M. SCHIAVON, J-M. PORTAL, H-Ph GUIMONT**

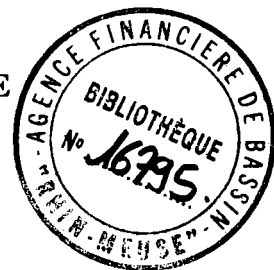
avec la collaboration de :  
**M. GÉRARD, B. GÉRARD, N. JOLAIN et Th. OREL**

Laboratoire Sols et Environnement  
Associé à l'INRA

Mai 1996

Étude financée par  
l'Agence de l'eau Rhin-Meuse

ÉTUDE DU TRANSFERT PAR LES EAUX DE DRAINAGE  
DE DIVERS PRODUITS PHYTOSANITAIRES  
DANS TROIS SOLS DE LORRAINE.  
CAMPAGNE 1994-1995



C'est vers les années 1973 que les premières analyses de résidus dans les eaux de drainage ont été réalisées (Boesten, 1989). Elles ont alors permis de montrer que certains produits phytosanitaires, dits rémanents, pouvaient contaminer l'eau libre qui circule à travers le sol. Actuellement, l'attention est portée sur les risques de pollution des eaux de surface ou souterraines. A cet égard, on peut s'interroger sur le domaine concerné par les indications fournies par les eaux de drainage. En effet, comme les eaux de ruissellement, elles rejoignent les eaux de surface *via* la tranchée de drainage et les drains, mais elles se distinguent de celles-ci car elles traversent au préalable la couche de labour. On peut ainsi considérer la parcelle drainée comme une immense case lysimétrique et les eaux de drainage comme des percolats. Dans ces conditions, le suivi de leur qualité informe également sur les risques de contamination des eaux souterraines à condition de connaître les effets induits par une rupture de la perméabilité entre l'horizon de surface (couche de labour) et la partie inférieure du profil.

Quoi qu'il en soit, même si nous possédons actuellement quelques éléments pour répondre à ces interrogations (Perrin-Ganier, 1995; Schiavon, 1980), l'objectif des travaux présenté ici, concerne plus particulièrement l'aspect dynamique des transferts de différentes molécules en relations avec les conditions de milieu (pluviométrie, type de sol) afin dévaluer le risque de pollution de l'eau.

Les travaux ont été menés sur trois types de sol drainés soumis aux mêmes conditions climatiques et aux mêmes pratiques culturales, Dans un premier temps, il est examiné dans chacun deux la dynamique de transfert de différentes molécules. La répétition des suivis, nous permettra dans un deuxième temps, dévaluer l'incidence de la variabilité des conditions climatiques qui suivent le traitement. Enfin, un troisième aspect est abordé dans ce rapport ; il concerne l'arrière effet d'un traitement de longue durée à l'atrazine sur la restauration de la qualité de l'eau.

## Matériel et méthodes

### 1) Le site expérimental de "la Bouzule"

Le site fait partie de la ferme expérimentale de l'ENSAIA ("la Bouzule"), à 15 km au Nord de Nancy. Il couvre une surface agricole d'une quinzaine d'hectares, subdivisée en 7 parcelles de surface variable. Sur ces 7 parcelles, 5 constituent un mini bassin versant dont les eaux de ruissellement sont évacuées par un fossé enherbé qui court en bas de pente (figure 1).

A ces 5 parcelles correspondent 4 types de sols différents :

- 1 sol argileux (Pélosol) [ parcelle A : 1,9 ha]
- 1 sol limoneux (sol brun) [parcelle B : 2, 8 ha]
- 1 sol argile-limoneux [parcelle C : 2,3 ha]
- 1 sol limono-argileux calcique [parcelles D et E : 2 + 4,3 ha]

Chacune de ces parcelles dispose de son propre réseau de drainage équipé d'un préleveur Sigma 800 qui assure la mesure des volumes d'eau évacués et un échantillonnage proportionnel au débit.

Seules les parcelles A, B et C ont fait l'objet d'un suivi dans le cadre de ce travail.

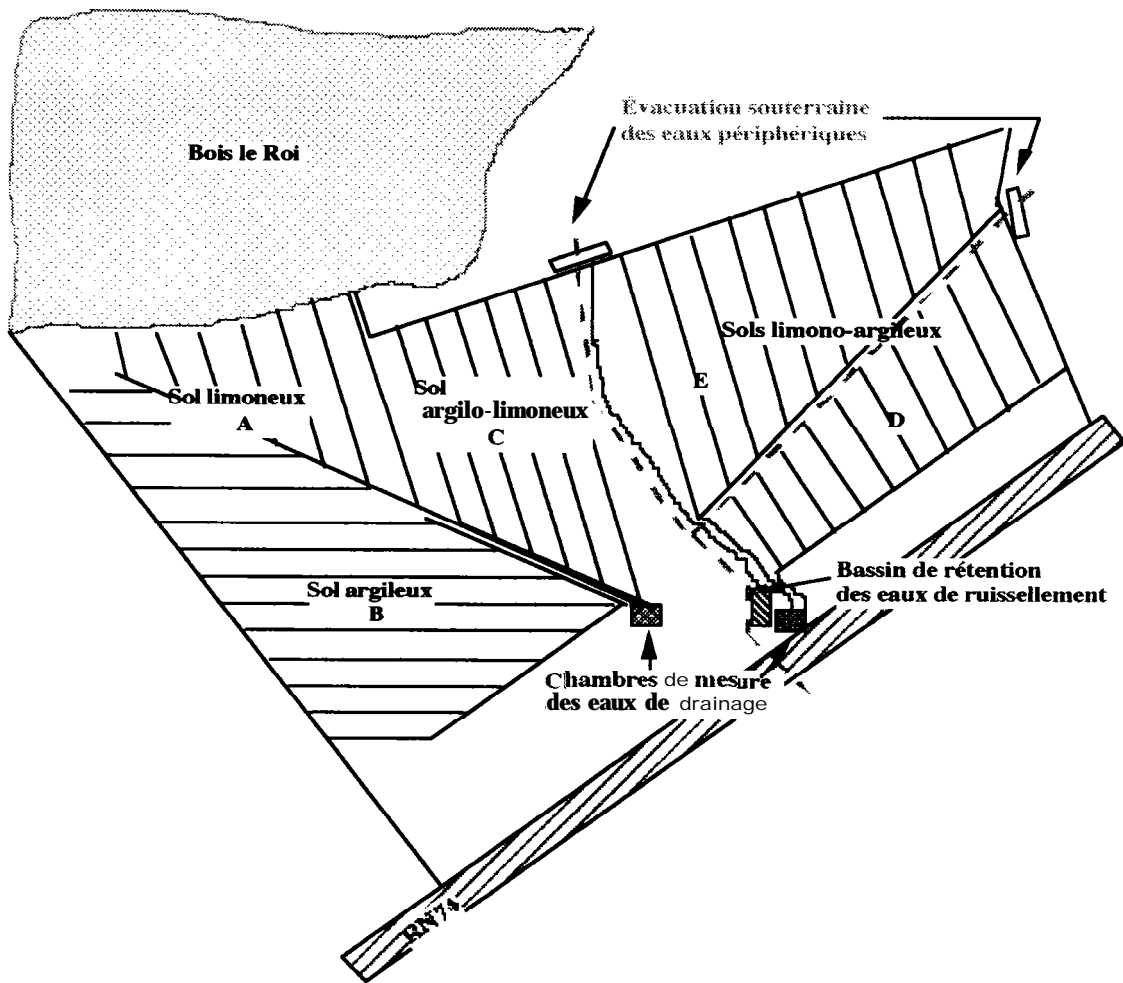


Figure 1 : Plan du dispositif expérimental de l'ensemble du site de "la Bouzule" (54)

## 2) Caractéristiques physico-chimiques des sols

Les caractéristiques physico-chimiques des 3 sols utilisés pour l'expérimentation sont données au tableau 1. Deux de ces sols se caractérisent par une teneur en carbone très proche, mais par une texture différente. Ceci induit des propriétés hydrodynamiques également très différentes. Le Sol brun intermédiaire, proche du point de vue textural du Pélosol se différencie par sa teneur en carbone et donc par ses propriétés adsorbantes.

**Tableau 1** : Caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface (0-20 cm) des sols faisant l'objet des suivis.

Sols	PI-I	Argiles	Limons	Sables	CEC	Carbone
		----- % -----			me/100g	%
limoneux (Sol brun lessivé) parcelle A	6,2	24,2	48,0	8,5	14,2	1,4
argileux (Pélosol) parcelle B	7,3	51,7	35,7	3,9	22,1	1,3
Argilo-limoneux (Sol brun intermédiaire). Parcelle C	7,2	47,6	38,7	8,3	26,3	1,9

### 3) Cultures et traitements

Le suivi porte sur les produits de traitement de l'orge d'hiver faisant suite à un blé et mise en place en novembre 1994. Le tableau II présente les données concernant les produits employés sur cette culture.

**Tableau II** : Nature des produits utilisés et doses appliquées sur l'orge d'hiver.

Culture	Dates d'application	matière active	dose (g ha-l m. a.)
Orge d'hiver	01/12/94	chlortoluron	2000
		bifenox	800
	03/04/95	isoproturon	1250
	04/05/95	flusilazole*	175
	"	fenpropimorphe*	260

\* : produits non recherchés (un seul échantillon d'eau d'un volume trop faible).

### 4) Nature des produits recherchés

Parmi les produits mentionnés au tableau II, il a été recherché l'isoproturon, le chlortoluron et le bifénox ainsi que l'atrazine et son métabolite majeur, la dééthylatrazine, compte tenu du passé **cultural** de la parcelle qui a été soumise pendant 20 ans à une monoculture de maïs et donc à un traitement par cet herbicide.

### 5) Prélèvements des eaux de drainage

Les prélèvements sont effectués au niveau du collecteur du réseau de drainage spécifique à chaque parcelle A, B et C. Il s'agit d'un prélèvement proportionnel au débit (50 ml tous les 3 m<sup>3</sup>) réalisé par un préleveur automatique Sigma 800 équipé d'un débitmètre. En période estivale, la fréquence des prélèvements est ramenée à 50 ml tous les 0,5 m<sup>3</sup>. Cependant, en cas de faibles volumes, un système de prélèvement au goutte à goutte permet de prélever un échantillon d'eau suffisant pour l'analyse.

### 6) Extraction et dosage des pesticides dans l'eau

Les résidus font l'objet d'une extraction liquide-solide sur C18. Les rendements d'extraction pour le chlortoluron, l'isoproturon, le bifénox, l'atrazine et la dééthylatrazine sont respectivement de **90, 92, 61, 96** et 90 %

Deux techniques de dosage ont été adoptées suivant la nature des matières actives : la chromatographie en phase gazeuse et la chromatographie liquide haute performance (CLHP).

#### a) Chromatographie en phase gazeuse

Cette méthode a été plus particulièrement utilisée pour le dosage de l'atrazine et de ses métabolites. Les conditions de travail ont été les suivantes :

- appareil : Variant 3300
- détecteur thermoionique
- colonne de verre de 1,5 m remplie avec du chromosorb G (60-80 mesh) imprégné à 2 % de NPGS.
- température de travail :
  - injecteur : 230 °C
  - détecteur : 250 °C
  - colonne : 190 °C
- gaz vecteur (N) : 30 ml/mn, hydrogène : 3,5 ml/mn, air : 280 ml/mn

## b) CLHP

A l'exception de l'atrazine et de ses métabolites, les 2 autres matières actives ont été dosées par CLHP à l'aide d'un appareil Beckman équipé d'un détecteur à barrette de diodes. Le tableau III nous donne pour l'ensemble des produits les principales caractéristiques de l'analyse.

Pour des molécules telles que l'isoproturon, le chlortoluron ou l'atrazine certains contrôles ont été effectués par CPG-SM sur un appareil Varian Satum III équipé d'une colonne capillaire DB5.

### 6) Prélèvement, extraction et dosage des produits phytosanitaires dans le sol

A intervalles réguliers au cours du temps 6 prélèvements de sol sont effectués dans chaque parcelle à différentes profondeurs : 0-5 , 5-10, 10-15 et 15-20 cm. Pour chaque niveau on constitue un échantillon moyen par le mélange des 6 échantillons ponctuels du même niveau.

Les échantillons moyens sont ensuite séchés à l'air ambiant, puis broyés à 2 mm et homogénéisés. Une aliquote de 50 g est prélevée et extraite à froid pendant 6 h par 2 fois 100 ml de méthanol. Les extraits sont rassemblés, puis évaporés à sec. Les résidus sont ensuite repris par un volume précis de méthanol ou d'acétonitrile en vue du dosage par CLHP ou CPG, comme pour les extraits à partir de l'eau.

**Tableau III** : Principales caractéristiques de l'analyse par CLHP du chlortoluron et de l'isoproturon

Produits	Éluants (0,8 ml/mn)	$\lambda$ (nm)	Temps de rétention (mn)	Colonnes (25 cm)
chlortoluron	méthanol-eau	220	3,85	Merck C18
isoproturon	acétonitrile-eau (60/40)	240	7,02	Kromasil C 18
bifenox		220	22,36	"

## RÉSULTATS

### 1 - Pluviométrie, drainage et prélèvements

La période de suivi considérée (juin 1994 - février 1996) se caractérise, comme le montre le relevé du tableau IV, par 3 périodes de sécheresse. La première va de juin à fin novembre 1994. Cette période est marquée par une forte pluviométrie en septembre, mais sans résultat important car elle intervient sur un sol très sec. Seulement quelques mètres cubes d'eau sont évacués (2 à 4 m<sup>3</sup>/ha) quel que soit le sol. La deuxième va de mai à septembre 1995. Toutefois, celle ci est plus normale puisqu'elle correspond à la période estivale. Aucun drainage n'est observé entre 15 mai et le 1 septembre 1995. Enfin , la troisième période caractérise le début de l'année 1996.

**Tableau IV** : Pluviométrie, ETP et différence entre Pluviométrie et ETP pour la durée du suivi

mm	Période du suivi											
	<b>Année 1994</b>											
	janv	fev	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
Pluviométrie						53,4	53,2	75,2	124,4	42,2	20,6	72,8
ETP						11,4	151,2	105,5	53,4	43,6	12,1	11,4
A						42	-98	-30,3	71	-1,4	8,5	61,4
-----												
	<b>Année 1995</b>											
Pluviométrie	115,2	50,6	78,6	63,0	82,0	54,6	83,6	31,4	96,2	57,2	36,8	49,8
ETP	14,4	17,3	36,7	59,6	109,7	108,0	161,3	136,7	57,8	37,0	18,2	8,0
A	100,8	33,3	41,9	3,4	-27,7	-53,4	-77,7	-105,3	38,4	20,2	18,6	41,8
-----												
	<b>Année 1996</b>											
Pluviométrie	8,6	31,6	20,4									
ETP	9,2	22,1	41,1									
A	-0,6	9,5	-20,7									

## 2 - Évolution des teneurs en résidus des eaux de drainage

L'ensemble des valeurs obtenues pour les produits recherchés sont présentées aux tableaux V, VI et VII. On notera cependant, d'une part, que le bifénox n'a pas été retrouvé dans les eaux de drainage qui ont suivi le traitement et d'autre part, l'absence de drainage à la suite du traitement flusilazole et fenpropimorphe. La reprise du drainage 5 mois plus tard, n'a pas montré la présence de résidus pour ces 2 matières actives.

### a - L'atrazine et ses métabolites

On rappellera que les traitements à l'atrazine ont été arrêtés en 1989 pour le Pélosol et le Sol brun lessivé et en 1992 pour le Sol brun intermédiaire. L'examen des résultats (tableaux V, VI et VII) montre :

- **pour le Sol brun lessivé**: l'absence quasi permanent de résidus d'atrazine (un seul échantillon positif pour l'ensemble de la campagne) alors que la dééthylatrazine (DEA) est présente plus fréquemment et à des doses supérieures, de l'ordre de **0,2 µg l<sup>-1</sup>**. Ainsi, pour ce sol, on assiste à un épuisement presque complet du stock de résidus accumulé au cours de 20 ans de traitement.

- **pour le Pélosol** : la fréquence de contamination par l'atrazine et la dééthylatrazine augmente considérablement, (5 échantillons positifs pour l'atrazine et 7 pour la DEA). Ceci est à mettre en relation avec une vitesse de dégradation de cette matière active beaucoup plus lente dans ce sol (Schiavon 1980).

- **pour le Sol brun intermédiaire** : la présence de l'atrazine est sensiblement identique à celle observée pour le Pélosol, mais la DEA est détectée bien plus fréquemment et surtout à des concentrations plus fortes (**0,4 à 1,3 µg l<sup>-1</sup>**). Ici encore nous avons affaire à un sol où l'activité biologique est plus lente que celle du sol brun lessivé et par ailleurs l'arrêt du traitement est intervenu plus tard. Ceci explique le décalage par rapport au Pélosol.

**Tableau V** : Précipitations, volumes drainés, et concentration en résidus dans les eaux du sol brun. Le traitement au chlortoluron a été réalisé le 1er décembre 1994.

Dates des relevés	Précipitations (mm)	Volumes drainés(m <sup>3</sup> /ha)	Résidus (µg/l)			IPU
			Chlortoluron	Atrazine	DEA	
du 20/06 au 27/06/94	0	0				
du 27/06 au 04/07	1,4	0				
du 04/07 au 11/07	8,2	0				
du 11/07 au 18/07	7,2	0				
du 18/07 au 25/07	23,2	0				
du 25/07 au 01/08	14,2	0				
du 01/08 au 08/08	14	0				
du 08/08 au 15/08	31	0				
du 15/08 au 22/08	27,2	0				
du 22/08 au 29/08	2,8	0				
du 29/08 au 05/09	0,8	0				
du 05/09 au 12/09	59,4	0				
du 12/09 au 19/09	52	1,806*		0	0	
du 19/09 au 26/09	10,6	0				
du 26/09 au 03/10	13,4	0				
du 03/10 au 10/10	3,8	0				
du 10/10 au 17/10	0	0				
du 17/10 au 24/10	6,6	0				
du 24/10 au 31/10	24	0				
du 31/10 au 07/11	2,2	0				
du 07/11 au 14/11	7	0				
du 14/11 au 21/11	9,6	0				
du 21/11 au 28/11	3,8	0				
<b>01/12/1994 : Traitement au chlortoluron (2000 g/ha)</b>						
du 28/11 au 05/12	5,2	10,176	123	0	0	
du 05/12 au 12/12	32	50,014	160	0	0	
du 12/12 au 19/12	1,8	4,254*	145,5	0	0	
du 19/12 au 03/01/95	35,8	187,625	74,3	0	0	
du 03/01 au 09/01	4	3,256*	90,7	0	0	
du 09/01 au 16/01	23	187,683	104,4	0	0	
du 16/01 au 23/01	32,6	210,392	146,5	0	0	
du 23/01 au 03/02	55,7	393,992	140,6	0	0	
du 03/02 au 13/02	21,4	59,569	28,3	0	0	
du 13/02 au 22/02	22	89,286	26,8	0	0,2	
du 22/02 au 28/02	14,6	120,085	28,9	0	0,2	
du 28/02 au 09/03	7,8	38,395	8,1	0	0	
du 09/03 au 21/03	51,0	207,745	18,1	0	0,1	
du 21/03 au 03/04	23,4	113,357	7,9	0,04	0,2	
<b>03/04/1995 : Traitement à l'isoproturon (1250 g/ha)</b>						
du 03/04 au 24/04	38,8	5,717*	5,7	0	0	91,8
du 24/04 au 02/05	16	77,074	4,4	0	0	34,0
du 02/05 au 15/05	1,2	0,155*	0	0	0	19,6
Période sans drainage						
du 01/09 au 13/09	49,6	51,519	0	0	0	0
du 13/09 au 27/09	36,6	52,141	0	0	0	0
du 27/09 au 03/10	12,8	17,480	0	0	0	0
du 03/10 au 09/10	18,2	56,957	0	0	0	0
du 09/10 au 13/11	41,2	114,657	0	0	0	0
du 13/11 au 20/11	28,4	69,215	1,23	0	0	0
du 20/11 au 03/01/96	53,2	71,328	0	0	0	0
du 03/01 au 11/01	3,6	200,380	0,38	0	0	0
du 11/01 au 09/02	7	92,620	0	0	0	0
du 09/02 au 29/02	31,4	667,680	0	0	0	0

\* échantillonnage au goutte à goutte ; DEA : dééthylatrazine, IPU : isoproturon

**Tableau VI** : Précipitations, volumes drainés et concentration en résidus dans les eaux du Pélosol. Le traitement au chlortoluron a été réalisé le 1er décembre 1994.

Dates des relevés	Précipitations (mm)	Volumes drainés (m <sup>3</sup> /ha)	Résidus (µg/l)			IPU
			Chlortoluron	Atrazine	DEA	
du 20/06 au 27/06/94	0	0				
du 27/06 au 04/07	1,4	0				
du 04/07 au 11/07	8,2	0				
du 11/07 au 18/07	7,2	0				
du 18/07 au 25/07	23,2	0				
du 25/07 au 01/08	14,2	0				
du 01/08 au 08/08	14	0				
du 08/08 au 15/08	31	0				
du 15/08 au 22/08	27,2	0				
du 22/08 au 29/08	2,8	0				
du 29/08 au 05/09	0,8	0				
du 05/09 au 12/09	59,4	0				
du 12/09 au 19/09	52	3,892*		0	0	
du 19/09 au 26/09	10,6	0				
du 26/09 au 03/10	13,4	0				
du 03/10 au 10/10	3,8	0				
du 10/10 au 17/10	0					
du 17/10 au 24/10	6,6					
du 24/10 au 31/10	24					
du 31/10 au 07/11	2,2	0,140*		0	0	
du 07/11 au 14/11	7	0				
du 14/11 au 21/11	9,6	0				
du 21/11 au 28/11	3,8	0				
<b>01/12/1994 : Traitement au chlortoluron (2000 g/ha)</b>						
du 28/11 au 05/12	5,2	2 1,405	39	0	0	
du 05/12 au 12/12	32	64,692	50,8	0	0	
du 12/12 au 19/12	1,8	5,000*	130,2	0	0	
du 19/12 au 03/01/95	35,8	201,578	107,6	0	0	
du 03/01 au 09/01	4	1,277*	110,3	0	0	
du 09/01 au 16/01	23	167,315	96,1	0,3	0,7	
du 16/01 au 23/01	32,6	172,865	112,3	0	0,3	
du 23/01 au 03/02	55,7	347,976	91,4	0	0	
du 03/02 au 13/02	21,4	40,275	41,8	0	0	
du 13/02 au 22/02	22	68,891	37,7	0,3	0,6	
du 22/02 au 28/02	14,6	92,994	35	0	0,5	
du 28/02 au 09/03	7,8	31,189	0	0	0	
du 09/03 au 21/03	51,0	187,675	22,4	0,1	0,18	
du 21/03 au 03/04	23,4	96,680	14,4	0,1	0,21	
<b>03/04/1995 Traitement au chlortoluron (1250 g/ha)</b>						
du 03/04 au 24/04	38,8	0,081*	9,3	0	0	131,9
du 24/04 au 02/05	16	0,250*	7,4	0	0	74,3
du 02/05 au 15/05	1,2	0				
<b>Période sans drainage</b>						
du 01/09 au 13/09	49,6	24,340	0	0,1	0,2	0
du 13/09 au 27/09	36,6	65,178	0	0	0	0
du 27/09 au 03/10	12,8	13,692	0	0	0	0
du 03/10 au 09/10	18,2	37,027	0	0	0	0
du 09/10 au 13/11	41,2	58,378	0,4	0	0	0
du 13/11 au 20/11	28,4	50,032	0	0	0	0
du 20/11 au 03/01/96	53,2	67,420	0	0	0	0
du 03/01 au 11/01	3,6	53,230	0	0	0	0
du 11/01 au 09/02	7	11,820	0	0	0	0
du 09/02 au 29/02	31,4	254,080	0	0	0	0

\* échantillonnage au goutte a goutte ; DEA : dééthylatrazine, IPU : isoproturon



**Tableau VII** : Précipitations, volumes drainés, et concentration en résidus dans les eaux du sol brun Intermédiaire.

Dates des relevés	Précipitations (mm)	Volumes drainés (m <sup>3</sup> /ha)	Résidus (µg/l)			
			Chlortoluron	Atrazine	DEA	IPU
du 20/06 au 27/06/94	0	0				
du 27/06 au 04/07	1,4	0				
du 04/07 au 11/07	8,2	0				
du 11/07 au 18/07	7,2	0				
du 18/07 au 25/07	23,2	0				
du 25/07 au 01/08	14,2	0				
du 01/08 au 08/08	14	0				
du 08/08 au 15/08	31	0				
du 15/08 au 22/08	27,2	0				
du 22/08 au 29/08	2,8	0				
du 29/08 au 05/09/	0,8	0				
du 05/09 au 12/09	59,4	0				
du 12/09 au 19/09	52	2,642*		0	0	
du 19/09 au 26/09	10,6	0				
du 26/09 au 03/10	13,4	0				
du 03/10 au 10/10	3,8	0				
du 10/10 au 17/10	0	0				
du 17/10 au 24/10	6,6	0				
du 24/10 au 31/10	24	0				
du 31/10 au 07/11	2,2	0				
du 07/11 au 14/11	7	0				
du 14/11 au 21/11	9,6	0				
du 21/11 au 28/11	3,8	0				
<b>01/12/1994 : Traitement au chlortoluron (2000 g/ha)</b>						
du 28/11 au 05/12	52	18,789	23,5	0	0	
du 05/12 au 12/12	32	38,904	29	0	0	
du 12/12 au 19/12	1,8	0,570*	63,2	0	0	
du 19/12 au 03/01/95	35,8	214,839	39,1	0	0	
du 03/01 au 09/01	4	4,632*	65,7	0	0	
du 09/01 au 16/01	23	193,798	57,4	0,2	1,3	
du 16/01 au 23/01	32,6	230,455	71,3	0	0	
du 23/01 au 03/02	55,7	399,327	60,8	0	0	
du 03/02 au 13/02	21,4	42,760	10,4	0,4	0,6	
du 13/02 au 22/02	22	74,326	10,4	0	0,7	
du 22/02 au 28/02	14,6	121,569	15,7	0,2	0,6	
du 28/02 au 09/03	7,8	151,765	2,9	0	0,4	
du 09/03 au 21/03	51	111,374	11,1	0,1	0,5	
du 21/03 au 03/04	23,4	116,830	5,3	0,1	0,4	
<b>03/04 1995 : Traitement à l'isoproturon (1250 g/ha)</b>						
du 03/04 au 24/04	38,8	5,339*	4,5	0	0	58
du 24/04 au 02/05	16	67,360	5,2	0	0	23,6
du 02/05 au 15/05	1,2	0,960*	1,2	0	0	14,7
Période sans drainage						
du 01/09 au 13/09	49,6	59,726	0	0,9	0,5	0
du 13/09 au 27/09	36,6	57,355	0	0	0	0
du 27/09 au 03/10	12,8	23,552	0	0	0	0
du 03/10 au 09/10	18,2	62,852	0	0	0	0
du 09/10 au 13/11	41,2	159,548	0	0	0	0
du 13/11 au 20/11	28,4	85,222	0	0	0	0
du 20/11 au 03/01/96	53,2	78,275	0	0	0	0
du 03/01 au 11/01	3,6	147,080	0	0	0	0
du 11/01 au 09/02		67,740	0	0	0	0
du 09/02 au 29/02		525,340	0	0	0	0

\* échantillonnage au goutte à goutte ; DEA : dééthylatrazine, IPU : isoproturon

Ces résultats montrent que le relargage des résidus non extractibles, mis en évidence en conditions modélisées (Demon, 1994), constitue une réalité en situation naturelle. Comme l'aptitude à former des résidus liés représente une propriété commune à presque tous les pesticides, il convient d'être attentif aux risques d'accumulation et de relargage diffus encouru lors de la mise en place d'une monoculture associant un nombre restreint de produits phytosanitaires.

### b - Le Chlortoluron

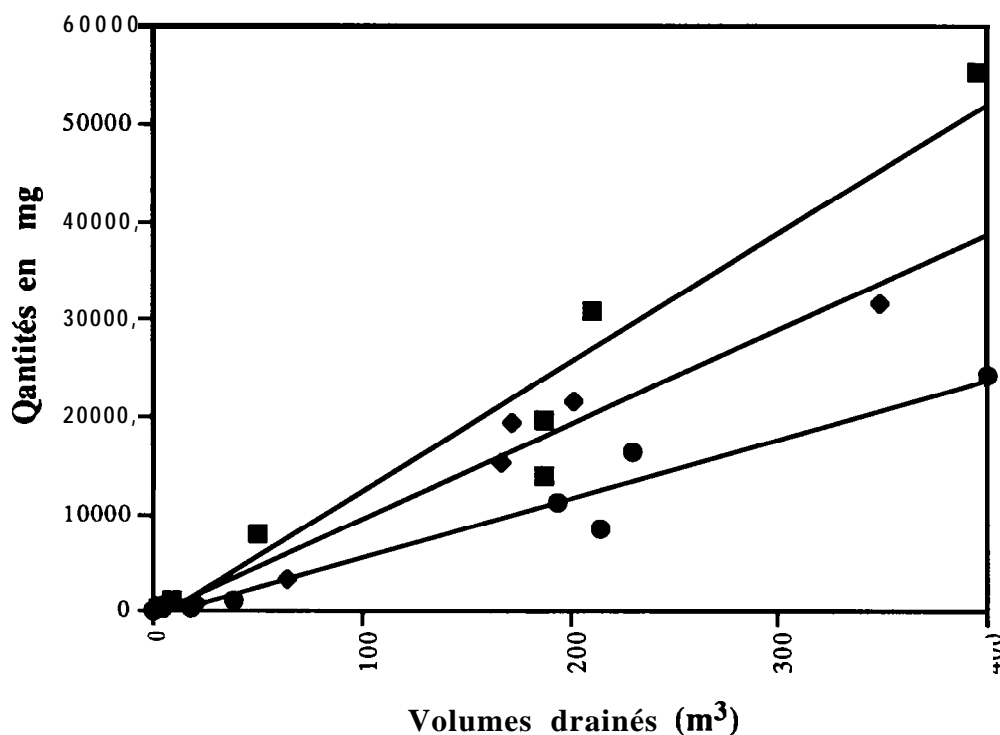
Ce traitement intervient classiquement au stade 3 feuilles du blé ou de l'orge en période hivernale. De ce fait, le produit est sujet à un transport presque immédiat par les excédents d'eau rencontrés régulièrement à ce moment de l'année. Ici le délai entre le traitement et le premier drainage n'est que d'une semaine.

A l'examen des résultats, on constate la présence de résidus à de très fortes concentrations dans les premières phases de drainage pour quelque soit le sol. La concentration maximale obtenue est respectivement de 130,2, 160 et 71  $\mu\text{g l}^{-1}$  pour le Pélosol, le Sol brun lessivé et le Sol brun intermédiaire. On remarquera par ailleurs que ces fortes concentrations se maintiennent pendant une durée d'environ 2 mois.

Les plus faibles concentrations enregistrées pour le Sol brun intermédiaire pourraient être dues :

- soit à une possible exportation d'une partie du produit par ruissellement car ce sol présente une pente supérieure aux deux autres,
- soit à une meilleure adsorption de l'herbicide puisque la teneur en carbone de ce sol est de 1,9 % contre 1,3 % pour le sol argileux et 1,4 % pour sol limoneux.

$Y = 97,924x - 388,672$	$r^2 = 0,974$	■	Sol limoneux
$Y = 132,986x - 1171,044$	$r^2 = 0,938$	●	Sol argileux
$Y = 61,005x - 630,109$	$r^2 = 0,953$	●	Sol intermédiaire



**Figure 2** Corrélations entre les quantités exportées et les volumes drainés pour les trois sols au cours des 2 premiers mois de drainage (7 phases)

En terme de quantités exportées elles sont également très élevées et atteignent **106,2 g (5,3 % de la dose apportée)** pour le Pélosol, **142,8 g (7,1 %)** pour le Sol brun lessivé et **67,9 g (3,4 %)** pour le Sol brun intermédiaire. Il s'agit là de valeurs peu communes et vraisemblablement en relation avec une longue période de drainage qui fait suite au traitement. En effet, on remarque une **très** bonne corrélation linéaire entre les quantités exportées et les volumes drainés au cours des 2 premiers mois où les excédents d'eau sont sensiblement continus (figure 2).

Aucune différence marquée dans les concentrations maximales atteintes n'est enregistrée entre le Pélosol et le Sol brun lessivé, cependant il faut souligner le comportement **particulier** de ce dernier sol dont les eaux s'avèrent couramment les moins chargées en résidus dans d'autres suivis. Ce comportement particulier pourrait être dû à un tassement et à une homogénéisation généralisés de la couche de labour des 3 sols sous l'action du gel-dégel et du gonflement des argiles pour le Pélosol et le Sol brun intermédiaire; ce qui a conduit à une porosité équivalente dans chacun deux. Le transfert du chlortoluron serait intervenu au cours de cette période par une porosité plus fine, avec une circulation de l'eau moins rapide et une certaine régularisation par des processus d'adsorption-désorption.

La présence de résidus pendant une longue durée (5 mois) dans les eaux de drainage peut être attribuée à une faible activité biologique en raisons de températures relativement basses à cette période de l'année qui ralentissent la dégradation de l'herbicide. Ceci est confirmé par le niveau en résidus présents dans les sols pendant cette période (tableau VIII). En effet, on constate une réelle baisse de la teneur en résidus dans le sol à partir de fin février 1995, synchrone avec une diminution des concentrations dans les eaux de drainage. Au moment où intervient la période sans drainage (mi-mai) le niveau de résidus dans le sol est encore de l'ordre de **0,25 mg kg<sup>-1</sup>**, et dans l'eau compris entre 0 et **7 µg l<sup>-1</sup>**

En terme de contamination par rapport à la norme de **0,1 µg l<sup>-1</sup>**, il en résulte une pollution de **1 428 000 m<sup>3</sup>** assurée par le Sol brun lessivé, **1 062 000 m<sup>3</sup>** par le sol argileux et **679 000 m<sup>3</sup>** par le Sol brun intermédiaire, soit un total de **3 169 000 m<sup>3</sup>**.

## **b - L'isoproturon**

Les faibles exportations enregistrées pour ce produit (tableaux V, VI et VII) dans les 3 sols sont due à des conditions climatiques ayant limité les **excédants** d'eau à la suite du traitement. Cela est particulièrement visible pour le Pélosol où seulement **0,331 m<sup>3</sup>** ont drainé contre **83 m<sup>3</sup>** pour le Sol brun lessivé et **73,6 m<sup>3</sup>** pour le Sol brun intermédiaire. Cela donne respectivement pour le Pélosol, le Sol brun lessivé et le Sol brun intermédiaire des quantités exportées égales à **29, 3148** et **1913 mg** par ha.

Toutefois, si l'on considère les concentrations maximales atteintes, on note pour le sol argileux un niveau comparable à celui obtenu avec le chlortoluron soit **130 µg l<sup>-1</sup>** alors que le sol limoneux se situe à **91 µg l<sup>-1</sup>** et le sol intermédiaire à **58 µg l<sup>-1</sup>**. En terme de concentration moyenne sur le total des volumes drainés nous obtenons respectivement pour les 3 sols : **88 µg l<sup>-1</sup>**, **38 µg l<sup>-1</sup>** et **26 µg l<sup>-1</sup>**. Dans le cas de ce traitement, nous avons donc affaire à une pollution aiguë relativement forte mais de courte durée et peu significative.

Enfin, on notera ici, contrairement aux observations faites pour le chlortoluron, une très nette différence de comportement des trois sols vraisemblablement consécutive à une modification de la circulation de l'eau induite par l'état de déshydratation du sol au moment où interviennent les nouveaux excédents d'eau. Mais on notera la position particulière du Sol brun intermédiaire qui bien que très proche du Pélosol par ses propriétés physiques donne, curieusement, un volume drainé très important et proche de celui du sol limoneux. Nous n'avons ici, aucune explication évidente.

## 2 - Évolution des teneurs en résidus dans les sols

### a - L'atrazine et ses métabolites

On rappellera que pour cet herbicide, aucune trace de résidus n'a été détectée dans les sols depuis 1993, **malgré** sa présence dans l'eau de drainage. Sa présence dans l'eau est donc le résultat d'une libération progressive et diffuse à partir des résidus non extractibles.

### b - Le chlortoluron

L'examen des résultats présentés au tableau VIII, montre une lente diminution des résidus dans la couche 0-5 cm des sols au cours du mois de décembre, due, en partie, au transport du produit vers les niveaux inférieurs. La dégradation paraît s'intensifier à la sortie hiver, puisque la diminution s'accroît sans participation accrue du transit.

**Tableau VIII** : Évolution de la teneur et du mouvement des résidus de chlortoluron dans les sols

Sols Niveaux	Pélosol				Sol brun lessivé				Sol brun intermédiaire			
	0/5	5/10	10/15	15/20	0/5	5/10	10/15	15/20	0/5	5/10	10/15	15/20
dates de prélèvement												
05/12/94	4,71	0,72	nd	nd	59	1,43	nd	nd	1,35	0,88	nd	nd
19/12/94	3,45	1,50	0,10	0,09	3,24	0,84	0,29	0,40	3,90	1,18	0,07	0,08
05/01/95	2,76	0,62	0,07	0,04	2,24	0,78	0,31	0,20	2,65	0,57	0,09	0,06
23/02/95	0,58	0,21	0,02	0,04	0,63	0,55	0,14	nd	0,73	0,09	nd	nd
05/04/95	0,58	0,07	0,01	nd	0,28	0,10	0,03	0,01	0,66	0,33	0,14	0,04
12/04/95	0,36	nd	nd	nd	0,15	0,11	nd	nd	0,43	0,23	0,07	nd
24/04/95	0,25	nd	nd	nd	0,14	0,04	nd	0,01	0,43	0,16	nd	nd
03/05/95	0,24	0,06	0,02	0,01	0,24	0,11	0,05	0,03	0,42	0,19	0,04	nd
03/06/95	0,14	nd	nd	nd	0,08	nd	nd	nd	0,05	nd	nd	nd
17/08/95	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

L'entraînement des résidus par les eaux de percolation se traduit par leur transfert jusqu'au fond de la couche de labour des 3 sols. A partir de la fin février, on observe que leur teneur dans les niveaux inférieurs est parfois trop faible pour être décelée. Ce phénomène s'accroît au cours du temps, bien qu'au mois de mai, les résidus soient présents sur l'ensemble des niveaux analysés. Toutefois, il faut prendre en compte, d'une part, l'hétérogénéité de l'échantillonnage, et d'autre part, la possibilité de contamination des niveaux inférieurs lors des prélèvements.

### b - L'isoproturon

Cet herbicide se caractérise par une demi-vie sous conditions de plein champ relativement courte : 2 à 4 semaines. Ceci est **confirmé** par les résultats obtenus, bien que la dissipation soit apparemment assez variable d'un sol à l'autre (tableau IX).

Même s'il a été observé une contamination élevée des eaux de percolation alimentant le drainage, on constate que le transfert des résidus vers la profondeur de la couche de labour est extrêmement limité et seul le niveau 5-10 cm semble vraisemblablement affecté à la date du 03 mai 1995. Les autres cas peuvent être considérés comme de possibles pollutions par les résidus du niveau de surface lors du prélèvement.

Ces **résultats** tendent à montrer que l'exportation de l'herbicide a été réalisée par de l'eau à circulation rapide sans participation marquée des processus d'adsorption.

**Tableau IX** : Évolution de la teneur et du mouvement des résidus d'isoproturon dans les sols

Sols Niveaux	Pélosol				Sol brun lessivé				Sol brun intermédiaire			
	0/5	5/10	10/15	15/20	0/5	5/10	10/15	15/20	0/5	5/10	10/15	15/20
dates de prélèvement												
<b>05/04/95</b>	132	nd	nd	nd	1.35	nd	nd	nd	<b>1,38</b>	nd	nd	nd
<b>12/04/95</b>	<b>0,91</b>	nd	nd	nd	0.74	<b>0,15</b>	nd	nd	<b>0,19</b>	0.15	nd	nd
<b>24/04/95</b>	<b>0,72</b>	nd	nd	nd	<b>0,22</b>	nd	nd	nd	<b>0,26</b>	nd	nd	nd
<b>03/05/95</b>	<b>1,04</b>	<b>0,16</b>	nd	nd	<b>0,25</b>	<b>0,04</b>	0.01	nd	<b>0,27</b>	nd	nd	nd
<b>03/06/95</b>	<b>0,11</b>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<b>0,07</b>	nd	nd	nd
<b>17/08/95</b>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

### b - Le bifénox

Nous avons déjà indiqué que ce produit, appliqué en même temps que le chlortoluron, n'a jamais été détecté dans les eaux de drainage. Il est possible que cela soit la conséquence de sa forte adsorption. En effet, très rapidement le niveau de résidus extractible dans le sol baissent, et après 18 jours il n'est plus retrouvé que dans les niveaux **0/5** et **5/10** cm du Sol brun **lessivé**(tableau X). Une autre possibilité serait sa rapide dégradation. Dans ce cas, une forte pollution peut être envisagée par un ou des produits de dégradation. Compte tenu de ces résultats, ce produit largement employée mériterait une étude plus fine à l'aide de sa molécule marquée au <sup>14</sup>C.

**Tableau X** : Évolution de la teneur et du mouvement des résidus de bifénox dans les sols

Sols Niveaux	Pélosol				Sol brun lessivé				Sol brun intermédiaire			
	0/5	5/10	10/15	15/20	0/5	5/10	10/15	15/20	0/5	5/10	10/15	15/20
dates de prélèvement												
<b>05/12/94</b>	<b>0,03</b>	nd	nd	nd	<b>1,2</b>	nd	nd	nd	<b>4,35</b>	nd	nd	nd
<b>12/12/94</b>	<b>0,02</b>	nd	nd	nd	<b>0,2</b>	<b>0,15</b>	nd	nd	<b>0,03</b>	<b>0,15</b>	nd	nd
<b>23/12/94</b>	nd	nd	nd	nd	<b>0,22</b>	<b>0,01</b>	nd	nd	nd	nd	nd	nd
<b>05/01/95</b>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

## CONCLUSION

Les conditions climatiques à la fois froides (ralentissement de la dégradation du produit dans le sol) et très humides (drainages abondants) rencontrées de décembre 1994 à mai 1995 ont permis de montrer, contrairement à un suivi précédent (1990-91), que les exportations de **chlortoluron** pouvaient être très importantes, tant au niveau des

concentrations que des quantités, et cela quel que soit le type de sol. Ce suivi a également montré que les propriétés physiques des sols ne jouent pas nécessairement un rôle prédominant. Il est cependant à regretter que les transferts par les eaux de surface n'aient pas été contrôlés.

On soulignera le comportement particulier du **bifénox**, qui employé dans les mêmes conditions, n'a manifesté qu'une persistance très courte et un transfert minime dans le sol et nul dans l'eau. Pour cette molécule, il serait bon d'examiner ses voies de dégradation et l'affinité de ses métabolites pour l'eau.

Pour **l'isoproturon**, les exportations ont par contre été minimales pour des raisons inverses celles rencontrées avec le chlortoluron : peu de drainage après le traitement et dégradation rapide favorisée par une humidité et une température suffisantes. Mais les fortes concentrations en résidus obtenues dans les eaux de drainage laissent entrevoir un fort potentiel de transfert. Ce produit étant **très** souvent utilisé en désherbage d'automne, il serait intéressant d'examiner son comportement dans une situation analogue à celle rencontrée pour le chlortoluron.

Enfin, les résultats obtenus pour **l'atrazine** et ses métabolites tendent à montrer que 6 à 7 ans de non traitement soient nécessaires pour éliminer l'arrière effet de 20 ans d'utilisation systématique pour le désherbage d'une monoculture de maïs. Il reste cependant à vérifier que cela est valable pour l'ensemble des métabolites. En particulier pour l'hydroxyatrazine qui est très souvent donnée dans la littérature comme le métabolite le plus abondant.

## **RÉFÉRENCES**

BOESTEN J. J. T. I., 1989 : Leaching of herbicides to ground water : A review of important factors and of available measurement. Proceeding 1987 British Crop Protection **Conference- Weeds 2, 559-568**

DEMON M., 1994 : Influence des facteurs climatiques et des constituants du sol sur la dynamique de l'atrazine. Thèse INPL, Vandoeuvre-lès-Nancy, p 111

PERRIN-GANIER C., 1995 : Dispersion et transformation de l'isoproturon dans le sol et l'eau. Thèse INPL, Vandoeuvre-lès-Nancy, p 150

SCHIAVON M., 1980 : Contribution à l'étude du mouvement et de la dégradation de l'atrazine dans deux sols agricoles : interaction matière organique-herbicide. Thèse de doctorat ès Sciences Naturelles, Vandoeuvre-lès-Nancy, p 193