

Institut National Polytechnique
de Lorraine.

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie
et des Industries Alimentaires
2, Avenue de la Forêt de Haye
54501 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



16795-2



**TRANSFERT PAR LES EAUX DE DRAINAGE
DE DIVERS PRODUITS PHYTOSANITAIRES
DANS TROIS SOLS DE LORRAINE**

M. SCHIAVON, S. DOUSSET, J-M. PORTAL, H-Ph GUIMONT

avec la collaboration de :
B. GÉRARD et Th. OREL

Août 1994

**Etude financée par
l'Agence de l'eau Rhin-Meuse**

TRANSFERT PAR LES EAUX DE DRAINAGE DE DIVERS PRODUITS PHYTOSANITAIRES DANS TROIS SOLS DE LORRAINE

18831

INTRODUCTION

Le devenir d'un produit phytosanitaire parvenant à la surface du sol, soit par traitement direct, soit lors d'une application foliaire, est dépendant à la fois de ses propres propriétés **physico-chimiques** et de celles du sol. A l'ensemble des interactions agissant sur l'immobilisation (forme **adsorbée** ou liée), le transport par l'eau et la dégradation abiotique, s'ajoute l'aspect biologique du milieu récepteur de la molécule. Par son activité métabolique il donnera naissance à de nouveaux produits, dont le comportement doit être également pris en compte lors de l'étude de la pollution diffuse induite par un pesticide.

C'est dans la couche de labour, riche en matière organique que les processus d'immobilisation et de transformation sont les plus intenses. Ainsi, lorsque un pesticide ou ses produits de conversion parviennent au-delà de cet horizon et se trouvent sous forme libre, leurs possibilités de **ré-adsorption** et de dégradation sont limitées (**Dictor**, 1994 ; **Kruger et al.**, 1993). Ils peuvent alors progresser en l'état vers la nappe **phréatique** ou, pour partie, vers les eaux de surface via les eaux de drainage, dans le cas de parcelles équipées d'un réseau. Les quantités de produits transférées par lessivage (matière active **et/ou** métabolites) seront fonction des propriétés **bio-physico-chimiques** de la couche de labour et des conditions climatiques, tandis que la vitesse de progression sera affectée par la **pluviométrie** et les interactions physico-chimiques entre les molécules et le substrat du sous-sol.

Par le suivi de la teneur en pesticides des eaux de drainage et l'établissement d'un bilan hydrique, il est donc possible de quantifier, les résidus **potentiellement** transférés vers la nappe en absence de ruissellement. La valeur est **ici** donnée par excès, **car une partie des excédants d'eau, parfois riche en résidus, est évacuée par ruissellement et n'est pas contrôlée** .

Par ailleurs, pour aussi exacte que soit l'évaluation des transferts, les conditions rencontrées en milieu naturel sont très variables et de ce fait reflètent rarement une situation moyenne compte tenu des facteurs impliqués dans le mouvement du pesticide. De ce fait, le suivi d'une matière active doit être poursuivi pendant plusieurs années, **pour permettre de dégager une notion de risques** aussi fiable que possible.

Enfin, dans les zones à agriculture intensive de maïs, nombreux sont les constats de pollution de l'eau par **l'atrazine** et certains de ses métabolites au delà des normes fixées par la CEE. Cette situation a entraîné diverses réactions dont l'interdiction de son emploi en Allemagne et la réduction de dose en France. Face à l'importance que représente la réussite du désherbage du maïs dans le maintien de sa productivité et aux difficultés dues à la réduction de dose qui limite le contrôle des adventices, il convient de trouver des solutions de remplacement. Ces solutions

doivent répondre à des exigences agronomiques, sans toutefois présenter de risques majeurs pour la pollution de l'eau.

L'objectif des travaux menés sur le site de "La Bouzule" (54 Champenoux), est de suivre la teneur en résidus des eaux de drainage de trois types de sols soumis à une rotation classiquement pratiquée en Lorraine (maïs-bld-orge). Pour la période **considérée** ici **l'étude** porte sur le suivi des produits utilisés sur maïs en remplacement de l'atrazine et sur blé. Dans la mesure où les parcelles utilisées avaient fait l'objet d'un traitement systématique à l'atrazine entre 1967 et 1988, il paraissait également intéressant de suivre la pollution "différée" due aux résidus de cet herbicide.

A partir de la connaissance de la pluviométrie, de l'évapotranspiration, des volumes drainés et de la concentration en résidus des eaux de drainage, nous avons par ailleurs estimé les quantités **potentiellement transférées** vers les eaux souterraines.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1 - Les sols

L'étude a été réalisée sur trois sols agricoles, typiques de la lorraine : un Pélosol, un Sol Brun Lessivé et un Sol Brun Intermédiaire. Ils sont situés sur la ferme expérimentale de l'École Nationale Supérieure **d'Agronomie** et des Industries Alimentaires : "la Bouzule", 54 Champenoux.

Leurs caractéristiques physico-chimiques sont présentées au tableau I. Ces sols se caractérisent par une teneur en carbone très proche, mais leur granulométrie est différente.

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques des 3 sols

Niveaux	pH (eau)	Granulométrie					CEC*	% C	
		0-2 μ A ¹	2-20 μ LF	20-50- LG	50-200 SF	200-2000 SG			
Pélosol O-20	7,3	51,7	29,0	6,7	1,8	2,1	22,1	1,3	
Sol brun O-20	6,2	24,2	32,5	15,5	5,3	15,0	14,2	1,4	
Sol Brun Intermédiaire O-20	non encore disponible								

**Capacité totale d'échange cationique exprimée en me par 100 g de sol*

A : argiles, LF : limons fins, LG : limons grossiers, SF : sables fins, SG : sables grossiers

2 - Les cultures

Pour la période considérée du suivi, deux cultures ont été mises en place successivement : un maïs, faisant suite à un précédent maïs, suivi d'un blé. Si pour le maïs aucune difficulté n'a été rencontrée au cours de son cycle végétatif, par contre, pour le blé, des conditions météorologiques extrêmement humides ont retardé son semis d'octobre 1993 à mars 1994.

3 - Les traitements et les doses

. sur maïs

Il s'agit d'un traitement de substitution à l'atrazine habituellement utilisée pour le désherbage du maïs. Le tableau II présente les données concernant les produits employés : date (s) de traitement, produit commercial, matière active et dose en kg de m.a.ha⁻¹.

Tableau II : Les traitements phytosanitaires réalisés sur maïs en 1993 et sur blé en 1994

Date de traitement	Produit commercial	Matière active	dose : kg.ha ⁻¹
Traitements du maïs			
29/04/93	Espadon	Carbofuran	0,458
05/05/93	Lasso	Alachlore	2,491
09/06/93	Basamaïs	Bentazone	0,864
Traitements du blé			
24/05/94	Quartz	Isoproturon DDF	1,500 0,150

. sur blé

En raison d'un semis tardif, le désherbage au chlortoluron n'a pu être effectué. Seul le traitement à l'isoproturon a été possible (tableau II). Il a été réalisé le 24/05/94 à la dose de 1500 g de matière active par hectare.

4 - le dispositif expérimental

Comme le montre la figure 1, les trois sols étudiés se trouvent individualisés en trois grandes parcelles juxtaposées (parcelles A, B et C), chacune équipée d'un réseau de drainage indépendant. Chaque réseau est relié à un collecteur qui aboutit dans un déversoir permettant la collecte des échantillons d'eau. Seulement deux parcelles sont équipées pour la mesure des débits (Parcelles A et B).

Grâce à un dispositif automatique, un prélèvement de 100 ml d'eau est réalisé tous les 3 m³ pendant les phases de drainage. L'analyse de l'eau est réalisée toute les semaines ou plus fréquemment lorsque le débit des drains est particulièrement fort. Pour des phases de drainage à faible débit (quelques m³), un système de prélèvement au goutte à goutte est utilisé en parallèle.

Du point de vue topographique, on doit ajouter que le Sol Brun Lessivé est situé en haut d'une petite butte, sa pente variant de 2 à 4 %, alors que le pélosol et le Sol Brun Intermédiaire constituent la butte même et leur pente est de 4 à 6 %.

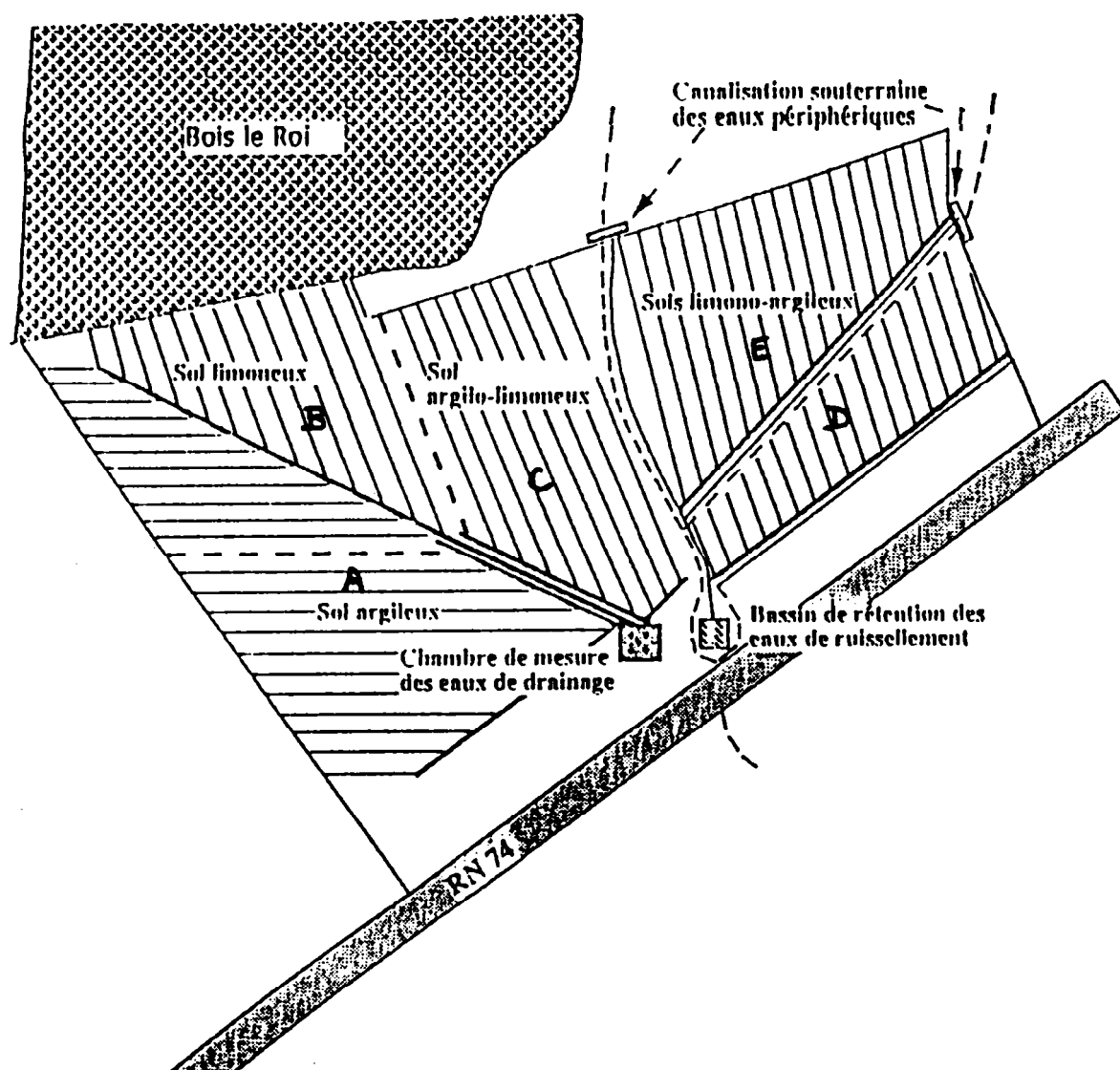


Figure 1 : Plan du dispositif expérimental de l'ensemble du site de la Bouzule (seules sont concernées par la présente étude, les parcelles A, B et C)

5 - Conditionnement des prélèvements d'eau

A partir de l'échantillon moyen obtenu (de l'ordre de 10 l), une aliquote de 2 l est **lyophilisée**. Les **résidus** obtenus sont récupérés par du dichlorométhane. Après évaporation à sec du solvant, ils **sont** solubilisés dans 1 ou 2 ml de méthanol en vue du dosage (facteur de concentration de 1000 à 2000).

6 - Dosage des résidus

a) Chromatographie Liquide Haute Performance

Sont concernés par cette technique de dosage, l'alachlore, la bentazone, le carbofuran et l'isoproturon.

Le tableau III, nous donne pour les 4 produits, les bandes d'absorption maxima dans l'U.V. et les temps de rétention en fonction des colonnes et des éluants utilisés pour un débit de $0,8 \text{ ml mn}^{-1}$. Dans tous les cas, la limite de détection de $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ est atteinte (limite de détection de l'appareil : $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$).

Tableau III : Bandes d'absorption dans l'U.V., temps de rétention et colonnes utilisées pour le dosage des produits phytosanitaires recherchés.

Produits	Éluant	λ (nm)	Temps de rétention	Colonne
Alachlore	Acétonitrile-eau (60/40)	220	12,25	Kromasil C18
Bentazone	Acétonitrile-acide phosphorique à 0,4 % (60/40)	220	7,02	Kromasil C18
carbofuran	Acétonitrile-eau (40/60)	277	5,68	ODS-Hypersil
Isoproturon	Acétonitrile-eau (60/40)	240	7,02	Kromasil C18

b) Chromatographie en phase gazeuse

Cette technique est utilisée pour le dosage de l'atrazine et ses métabolites chlorés.

Les conditions de travail sont les suivantes :

- . Appareil : Varian 3300
- . Détecteur : TSD (Thermoionique)
- . Colonne en verre, 1,50 m, remplie avec du Chromosorb G (60-80 mesh), imprégné de NPGS à 2 %
- . Températures de travail : Injecteur : 230 °C
Détecteur : 250 °C
Colonne : 200 °C
- . Gaz vecteur (N) : 30 ml/mn
- . Hydrogène : 3,5 ml/mn
- . Air : 280 ml/mn

Dans ces conditions de travail, l'appareil donne une réponse mesurable pour des quantités d'atrazine de 1 ng dans un volume de 2 μl injecté. Ceci conduit à une limite de détection

inférieur à 0,1 µg d'atrazine par litre d'eau. Cette limite de détection est inférieure à 0,2 µg.l⁻¹ pour le dé-éthylatrazine et de ≈ 0,5 µg.l⁻¹ pour le déisopropylatrazine.

RÉSULTATS

1 - Pluviométrie, drainage et prélèvements

La période de suivi considérée (Mars 1993 - juillet 1994) se caractérise par une relative sécheresse pendant le cycle végétatif du maïs (avril 93 à août 93) et les précipitations efficaces pour provoquer le drainage n'interviennent qu'en début automne. Cette dernière période particulièrement humide se prolonge jusqu'en mars 94 et empêche le semis du blé à sa date normale. Après traitement du blé (mai 94), fait suite un printemps et un été secs.

Tableau IV : Pluviométrie mensuelle enregistrée au cours du suivi. Comparaison à la pluviométrie moyenne sur 30 ans

1993		Pluviométrie*(mm)			1994		Pluviométrie*(mm)		
Saisons	Mois	Normale	Enregistrée	Écart à la normale°	Saisons	Mois	Normale	Enregistrée	Écart à la normale°
Hiver	Janvier	54,8	65,8	+ 11,0	Hiver	Janvier	54,8	66,0	+ 11,2
	Février	49,5	14,0	- 35,5		Février	49,5	50,4	+ 0,9
	Mars	54,9	7,2	- 47,7		Mars	54,9	64,2	+ 9,3
Printemps	Avril	51,1	24,4	-26,7	Printemps	Avril	51,1	57,2	+ 6,1
	Mai	75,5	48,8	-26,7		Mai	75,5	66,4	- 9,1
	Juin	74,2	45,4	- 28,8		Juin	74,2	53,4	- 20,8
Été	Juillet	62,6	91,0	+ 28,4	Été	Juillet	62,6	48,2	- 14,4
	Août	68,9	28,2	- 40,7					
	Septembre	61,2	134,4	+ 73,2					
Automne	Octobre	60,1	87,2	+ 27,1					
	Novembre	66,6	13,0	- 53,6					
	Décembre	64,7	153,8	+ 89,1					

(*) : Pluviométrie obtenue à partir de la station INRA-CNRF d'Amance à 2 km du site; (°) : écart à la normale en mm.

Ces conditions climatiques ont entraîné 9 grandes phases de drainage dont les plus importantes ont été subdivisées pour les dosages de résidus, en périodes d'une semaine. Ceci a conduit à 27 prélèvements pour chaque sol sur l'ensemble du suivi. Les tableaux V et VI donnent le détail des résultats enregistrés pour la pluviométrie et le drainage.

Tableau V : Pluviométrie et drainage enregistrés pour le Pélosol au cours de l'année 1993-94

Dates 1993	Précipitations mm	Drainage m ³ .ha ⁻¹	Dates 1992	précipitations mm	Drainage m ³ .ha ⁻¹
04/01 - 11/01	8,4	17,715	29/11 - 06/12	35,4	0,0
11/01 - 18/01	41,4	470,306	06/12 - 13/12	0,0	145,412
18/01 - 25/01	13,4	42,152	13/12 - 20/12	43,6	240,199
25/01 - 01/02	2,6	11,594	20/12 - 27/12	44,0	225,666
01/02 - 08/02	0,0	0,0	27/12 - 03/01/94	34,6	128,736
08/02 - 15/02	0,0	0,0	03/01 - 10/01	24,8	267,194
15/02 - 22/02	8,2	0,0	10/01 - 17/01	4,2	18,387
22/02 - 01/03	5,8	0,0	17/01 - 24/01	4,2	47,147
01/03 - 08/03	0,2	0,0	24/01 - 31/01	27,0	123,557
08/03 - 15/03	0,0	0,0	31/01 - 07/02	19,4	90,718
15/03 - 22/03	6,2	0,0	07/02 - 14/02	3,0	0,785
22/03 - 29/03	6,0	0,0	14/02 - 21/02	8,2	0,614
29/03 - 05/04	0,0	0,0	21/02 - 28/02	17,8	112,512
05/04 - 12/04	14,8	0,0	28/02 - 07/03	7,8	41,973
12/04 - 19/04	4,6	0,0	07/03 - 14/03	0,0	0,0
19/04 - 26/04	0,4	0,0	Semis du blé le 17/03		
Semis du maïs et traitement au curater le 29/04			14/03 - 21/03	16,6	30,529
26/04 - 03/05	1,2	0,0	21/03 - 28/03	9,2	44,664
Traitement à l'alachlore le 05/05		0,0	28/03 - 04/04	36,0	0,0
10/05 - 17/05	12,2	0,0	04/04 - 11/04	9,4	24,695
17/05 - 24/05	9,0	0,0	11/04 - 18/04	4,2	1,790
24/05 - 31/05	23,2	0,0	25/04 - 02/05		0,0
31/05 - 07/06	9,0	0,0		3,8	0,0
Traitement à la beuzzone le 09/06	5,8	0,0	09/05 - 16/05	23,6	0,0
07/06 - 14/06	9,8	0,0	16/05 - 23/05	20,2	4,281
14/06 - 21/06	0,0	0,0	Traitement à l'isoproturon le 24/05		
21/06 - 28/06	20,8	1,306	23/05 - 30/05	21,6	8,373
28/06 - 05/07	0,4	0,0	30/05 - 06/06	29,4	0,301
05/07 - 12/07	9,8	0,0	06/06 - 13/06	22,0	20,200
12/07 - 19/07	24,6	0,0	13/06 - 20/06	0,6	0,0
19/07 - 26/07	21,8	0,0	20/06 - 27/06	0,0	0,0
26/07 - 02/08	34,6	0,0		1,4	0,0
02/08 - 09/08	0,2	2,751	04/07 - 11/07	8,4	0,0
09/08 - 16/08	0,0	0,0		0,0	0,0
16/08 - 23/08	18,2	0,0	18/07 - 25/07	23,4	0,0
23/08 - 30/08	6,6	0,0	25/07 - 01/08	14,2	0,0
30/08 - 06/09	0,0	0,0	01/08 - 15/08		
06/09 - 13/09	55,6	0,0	15/08 - 22/08		
13/09 - 20/09	34,2	9,773	22/08 - 29/08		
20/09 - 27/09	28,8	2,478	29/08 - 05/09		
27/09 - 04/10	21,2	3,648	05/09 - 12/09		
04/10 - 11/10	32,6	32,921	12/09 - 19/09		
11/10 - 18/10	31,4	49,043	19/09 - 26/09		
18/10 - 25/10	11,2	12,297	26/09 - 03/10		
25/10 - 01/11	0,0	0,394	03/10 - 10/10		
01/11 - 08/11	2,2	0,0	10/10 - 17/10		
08/11 - 15/11	9,6	0,311	17/10 - 24/10		
15/11 - 22/11	1,0	0,020	24/10 - 31/10		
22/11 - 29/11	0,0	0,0			

Tableau VI : Pluviométrie et drainage enregistrés pour le Sol brun au cours de l'année 1993-94

Dates 1993	Précipitations mm	Drainage m ³ .ha ⁻¹	Dates 1994	Précipitations mm	Drainage m ³ .ha ⁻¹
04/01 - 11/01	8,4	16,103	29/11 - 06/12	2,2	0,0
11/01 - 18/01	41,4	210,615	06/12 - 13/12	35,4	194,936
18/01 - 25/01	13,4	31,418	13/12 - 20/12	43,6	324,136
25/01 - 01/02		23,622	20/12 - 27/12	44,0	330,738
	2,8	0,0	27/12 - 03/01/94	34,6	188,677
08/02 - 15/02	0,0	0,0	03/01 - 10/01	24,8	225,898
15/02 - 22/02	8,2	0,0	10/01 - 17/01	4,2	10,481
22/02 - 01/03		0,0	17/01 - 24/01	4,2	14,106
	5,8	0,0	24/01 - 31/01	27,0	120,409
08/03 - 15/03	0,0	0,0	31/01 - 07/02	19,4	87,038
15/03 - 22/03	0,8	0,0	07/02 - 14/02	3,0	8,316
22/03 - 29/03	6,2	0,0	14/02 - 21/02	8,2	0,0
29/03 - 05/04	6,0	0,0	21/02 - 28/02	17,8	106,013
05/04 - 12/04	14,8	0,0	28/02 - 07/03	7,8	30,489
12/04 - 19/04	4,6	0,0	07/03 - 14/03	blé le	1,506
19/04 - 26/04	0,4	0,0	Semis du	17/03	
Semis du maïs et traitement au curater le 29/04			14/03 - 21/03	16,6	28,677
26/04 - 03/05	1,2	0,0	21/03 - 28/03	9,2	45,189
Traitement à l'alachlore le 05/05			28/03 - 04/04	36,0	1,567
		0,0	04/04 - 11/04	9,4	108,4113
10/05 - 17/05	12,2	0,0	11/04 - 18/04	4,2	30,218
17/05 - 24/05	9,0	0,0	18/04 - 25/04		0,0
24/05 - 31/05	23,2	0,0	25/04 - 02/05		0,0
31/05 - 07/06	9,0	0,0		3,8	0,0
Traitement à la bentazone le 09/06			02/05 - 09/05	3,6	0,0
	5,8	0,0	16/05 - 23/05	20,2	2,882
14/06 - 21/06	9,8	0,0	Traitement à l'isoproturon le 24/05		
21/06 - 28/06	20,8	1,366	23/05 - 30/05	21,6	18,362
	0,4	0,0	30/05 - 06/06	29,4	1,064
05/07 - 12/07	9,8	0,0	06/06 - 13/06	22,0	35,879
		0,0	13/06 - 20/06	0,6	0,0
19/07 - 26/07	21,8	0,0	20/06 - 27/06	0,0	0,0
		0,0		1,4	0,0
02/08 - 09/08	30,2	0,580	04/07 - 11/07	8,4	0,0
		0,0		7,2	0,0
16/08 - 23/08	10,8	0,0	18/07 - 25/07	23,4	0,0
	8,2	0,0	25/07 - 01/08	14,2	0,0
30/08 - 06/09	6,6	0,0	01/08 - 15/08		
06/09 - 13/09	55,6	0,0	15/08 - 22/08		
13/09 - 20/09	34,2	1,026	22/08 - 29/08		
20/09 - 27/09	28,8	1,054	29/08 - 05/09		
27/09 - 04/10	21,2	1,472	05/09 - 12/09		
04/10 - 11/10	32,6	24,770	12/09 - 19/09		
11/10 - 18/10	31,4	82,867	19/09 - 26/09		
18/10 - 25/10	11,2	28,161	26/09 - 03/10		
25/10 - 01/11	0,0	19,539	03/10 - 10/10		
	2,2	0,0	10/10 - 17/10		
08/11 - 15/11	9,6	0,051	17/10 - 24/10		
15/11 - 22/11	1,0	0,427	24/10 - 31/10		
22/11 - 29/11	0,0	0,0			

2 - Évolution de la teneur en résidus des eaux de drainage

a - L'atrazine et ses métabolites

Bien que les traitements à l'atrazine sur le pélosol et le sol brun (parcelles A et B) aient été arrêtés en 1988, on peut constater la présence de cette matière active et de son métabolite majeur : le dé-éthylatrazine dans les eaux de drainage (tableau VII, VIII et IX).

Pour le pélosol cette présence est quasi régulière au cours de l'année en 1993 et jusqu'en janvier 94 à des concentrations supérieures à $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$. Fait suite une période de 3 mois pendant laquelle aucun résidu n'est détecté mais la contamination réapparaît ponctuellement en avril 1994.

Pour le Sol Brun, la contamination de l'eau par l'atrazine est de plus courte durée et se limite au premier semestre de 1993, par contre le **dééthylatrazine** est présent pendant presque toute l'année 93. Ici encore aucun résidu s-triazinique n'est détecté au cours du premier trimestre 94 mais **réapparaît** ponctuellement en avril 94.

Ces résultats montrent un comportement nettement différent entre les 2 sols qui pourrait s'expliquer en partie par un stock de résidus chlorés différent dans chacun deux. En effet, il a été **montré** que le processus de dégradation par hydroxylation était bien plus rapide dans le sol brun (Schiavon, 1980) ce qui serait à l'origine d'une réserve moins importante. Toutefois, dans les deux cas, cette réserve serait libérée partiellement lors des phases de minéralisation de début automne ou de printemps. L'eau de percolation pourrait alors prendre en charge ces résidus.

Pour le Sol Brun Intermédiaire, l'arrêt du traitement atrazine date de 1991. Ce délai de 2 ans, bien plus court que pour les autres sols entraîne une pollution de l'eau à la fois plus forte et plus régulière de janvier 93 à avril 94. Aucune trace d'atrazine n'est observée en mai et juin 94, mais les teneurs en **dé-éthylatrazine** restent constamment élevées, y compris pour ces 2 derniers mois.

On notera que le **déisopropylatrazine** n'est rencontrée que d'une manière très aléatoire.

b - Le carbofuran

Ce produit a été appliqué au sol sur la ligne de semis le **29/04/93**. A ce traitement, fait suite une période d'environ 2 mois, ne donnant pas lieu à une phase de drainage, mais elle est suffisamment humide pour permettre la biodégradation du produit. Ainsi, dans la phase de drainage de fin juin, des traces de carbofuran sont observées seulement dans les eaux du pélosol. Ces **résultats** sont assez conformes à ceux de Achik et Schiavon (1989) qui indiquent une persistance de l'ordre de 2 mois pour ces mêmes sols.

Tableau VII : Volumes drainés et concentrations en **résidus** des eaux de drainage du Pélosol

Phases de drainage	Volumedrainé m ³	Concentration en pesticides (µg.l ⁻¹)				
		Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore	Carbofuran
1993 (MAÏS)						
04/01 - 11/01	17,715	0,27	0,29	0,39	0,0	
11/01 - 18/01	470,306	0,14	0,21	0,0	0,0	
18/01 - 01/02	53,746	0,17	0,27	0,0	0,0	
21/06 - 28/06	1,306*	0,35	0,57	33,80	1,10	+
02/08 - 09/08	2,751*	+	+	5,18	+	0,0
13/09 - 20/09	9,773	0,12	0,15	4,93	+	0,0
20/09 - 04/10	6,126	0,15	0,2	1,82	+	0,0
04/10 - 11/10	32,921	0,21	0,17	1,70	1,47	0,0
11/10 - 18/10	49,043	0,14	0,28	0,63	0,0	0,0
18/10 - 25/10	12,297	0,0	0,0	4,20	0,31	
25/10 - 01/11	0,394*	0,0	0,44	5,18	2,80	
08/11 - 22/11	0,331*	0,0	0,37	3,14	1,23	
06/12 - 13/12	145,412	0,15	0,34	3,52	0,50	
13/12 - 20/12	240,199	0,16	0,37	1,83	0,0	
20/12 - 27/12	225,666	0,23	0,41	0,59	0,0	

1994						
27/12 - 03/01	128,736	0,25	0,46	0,44	0,0	
03/01 - 10/01	267,197	0,15	0,0	0,32	0,0	
10/01 - 24/01	65,534	0,0	0,0	0,0	0,0	
24/01 - 07/02	214,275	0,0	0,0	0,0		
07/02 - 21/02	1,389	0,0	0,0	0,0		
21/02 - 07/03	154,485	0,0	0,0	0,0		
14/03 - 28/03	75,193	0,0	0,0	0,0	-	
04/04 - 18/04	26,485	0,16	0,19	0,52	-	

BLÉ						
Phases de drainage	Volumedrainé m ³	Concentration en pesticides (µg.l ⁻¹)				
		Atrazine	DEA ¹	Bentazone	Isoproturon	DMI ²
02/05 - 30/05	12,654	0,0	3,24	0,0	363,68	0,0
30/05 - 06/06	0,301	0,0	5,96	0,0	147,76	0,0
06/06 - 20/06	20,200	0,0	2,45	0,0	75,20	0,0

(1) DEA : dé-éthylatrazine ; (2) DMI : déméthylisoproturon ; (*) échantillonnage au goutte à goutte; (+) traces de **résidus**

Tableau VIII : Volumes drainés et concentrations en résidus des eaux de drainage du Sol Brun Lessivé

Phases de drainage	Volumedrainé m ³	Concentration en pesticides (µg.l ⁻¹)				
		Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore	Carbofuran
1993 (MAÏS)						
11/01 - 11/01	210,603	0,14	0,11	0,09	0,0	0,0
18/01 - 01/02	55,040	0,18	+	0,0	0,0	0,0
21/06 - 28/06	1,366*	0,05	0,19	4,70	0,0	0,0
03/09 - 20/09	0,026*	0,0	0,0	1,75	2,6	0,0
20/09 - 04/10	2,526	0,0	+	0,93	0,0	0,0
04/10 - 11/10	24,770	+	+	+	0,0	0,0
11/10 - 18/10	82,867	0,0	0,05	0,09	0,0	0,0
18/10 - 25/10	28,161	0,0	0,11	0,36	0,0	0,0
25/10 - 01/11	19,529	+	0,11	1,35	+	0,0
08/11 - 22/11	0,478*	*	0,08	1,08	0,0	0,0
06/12 - 13/12	194,936	+	0,15	1,42	+	0,0
13/12 - 20/12	324,136	0,0	0,0	1,23	0,0	0,0
20/12 - 27/12	330,738	0,0	0,0	0,64	0,0	0,0
1994						
03/01 - 00/01	228,898	0,0	0,0	0,38	0,0	0,0
10/01 - 24/01	24,587	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24/01 - 07/02	207,447	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07/02 - 21/02	8,316	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21/02 - 07/03	136,502	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07/03 - 28/03	75,372	~,~	~,~	0,0	0,0	0,0
28/03 - 04/04	1,567*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04/04 - 18/04	138,637	0,23	0,0	0,0	0,0	0,0
BLÉ						
Phases de drainage	Volumedrainé m ³	Concentration en pesticides (µg.l ⁻¹)				
		Atrazine	DEA ¹	Bentazone	Isoproturon	DMI ²
02/05 - 30/05	21,244	0,0	0,70	0,0	281,68	0,0
30/05 - 06/06	1,064	~,~	0,0	~,~	31,04	-
06/06 - 20/06	35,879	0,0	,	0,0	60,32	-

(1) DEA : dé-éthylattazine ; (2) DMI : déméthylisoproturon ; (*) échantillonnage au goutte à goutte ; (+) traces de résidus

Tableau IX : **Précipitations** et concentrations en résidus des eaux de drainage du Sol brun intermédiaire

Phases de drainage	Précipitations mm	Concentration en pesticides ($\mu\text{g.l}^{-1}$)				
		Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore	Carbofuran
1993 (MAÏS)						
11/01 - 118/01	41,4	0,41	0,83	0,19	0,0	0,0
18/01 - 01/02	16,0	0,15	0,29	0,0	0,0	-
14/06 - 28/06	30,6*	0,40	0,66	6,00	+	0,0
02/08 - 09/08	0,2*	Absence de drainage				
13/09 - 20/09	34,2	0,18	0,2	2,30	0,0	0,0
20/09 - 04/10	50,0	0,18	0,65	0,41	0,0	0,0
04/10 - 11/10	32,6	0,32	0,83	0,62	0,0	0,0
18/10 - 25/10	11,2	0,20	0,50	2,32	0,0	0,0
08/11 - 22/11	10,6*	0,20	0,58	2,53	0,0	0,0
06/12 - 13/12	35,4	0,19	0,53	2,70	0,0	0,0
13/12 - 20/12	43,6	0,18	0,55	0,8	0,0	0,0
20/12 - 27/12	44,0	0,22	0,6	0,30	0,0	0,0
1994						
27/12 - 03/01	34,6	0,19	0,46	0,15	0,0	0,0
10/01 - 24/01	28,4	0,15	0,59	0,09	0,0	0,0
24/01 - 07/02	46,4	0,12	0,47	0,0	-	-
07/02 - 21/02	11,2	0,12	0,45	0,0	-	-
21/02 - 07/03	28,2	0,10	0,32	0,0	-	-
14/03 - 28/03	19,2	0,08	0,24	0,0	-	-
04/04 - 18/04	45,4	0,12	0,31	0,14	-	-
BLÉ						
Phases de drainage	Précipitations mm	Atrazine	DEA ¹	Bentazone	Isoproturon	DMI ²
02/05 - 30/05	66,4	0,0	3,15	0,0	115,68	0,0
30/05 - 06/06	29,4	0,0	0,0	0,0	3,06	0,0
06/06 - 20/06	22,6	0,0	0,82	0,0	22,54	+

(1) DEA : dé-éthylatrazine ; (2) DMI : diméthylisoproturon ; (*) échantillonnage au goutte à goutte ; (+) traces de résidus

c - L'alachlore et la bentazone

Contrairement aux résultats obtenus en 1992, les concentrations en résidus des eaux de drainage enregistrées pour ces 2 produits sont relativement faibles (tableaux VII, VIII et IX). Ceci est vraisemblablement dû au fait que les fortes précipitations donnant lieu au drainage sont intervenues 2 mois après le traitement pour l'alachlore et 20 jours après pour la bentazone. On notera cependant que les concentrations enregistrées dans les premières eaux de drainage du pélosol sont 338 fois supérieures à la norme pour la bentazone et 11 fois supérieures pour l'alachlore.

Pour la bentazone, ces concentrations chutent considérablement après une période de 3 mois, mais le produit est retrouvé dans les eaux à des doses 3 à 4 fois supérieure à la norme, jusqu'au mois de janvier 1994 quel que soit le sol considéré.

L'alachlore présente un comportement particulier et fortement marqué par le type de sol. Pour le Sol Brun **Intermédiaire**, seules des traces sont détectées au cours des trois mois qui suivent le traitement. Pour le Pélosol et le Sol Brun Lessivé on observe de fortes concentrations dans les premières eaux de drainage qui suivent le traitement, puis des traces dans les eaux du pélosol seulement. L'alachlore réapparaît en octobre dans les eaux du Sol Brun Lessivé et d'octobre à début décembre dans celles du Pélosol. Cette présence en 2 phases successives avait déjà été **observée** pour le pélosol en 1992. Ce produit présente de fortes interactions avec le sol et les possibilités d'extractions diminuent très vite au cours du temps (Saikaly, 1993). La demi-vie apparente, mesurée au laboratoire est de 14 jours contre 33 pour la bentazone. Le transfert de cette matière active impliquerait donc la mise en oeuvre de fortes précipitations qui n'interviennent ici qu'au mois d'octobre. Il reste cependant une interrogation dans la mesure où ce produit se comporte au laboratoire de manière semblable dans les 3 sols en ce qui concerne son extraction.

d - L'isoproturon

Le traitement effectué à l'aide de cet herbicide présente une situation tout à fait particulière et **intéressante** dans la mesure où il a été suivi immédiatement par une période fortement pluvieuse : 98 mm en un mois. Dans la première phase de drainage qui suit le traitement, les concentrations enregistrées sont 3637 fois supérieures à la norme pour le pélosol, 2817 fois pour le Sol Brun Intermédiaire et 1157 fois pour le Sol Brun Lessivé (tableaux VII, VIII et IX). Ces concentrations restent très élevées jusqu'à fin juin, soit 2 mois après le traitement. **Malgré** une demi-vie de l'ordre de 50 jours en conditions naturelles (Perrin-Ganier, 1994), les quantités disponibles à l'entraînement par l'eau de percolation restent suffisantes 2 mois après le traitement pour conduire à des concentrations 750,600 et 225 fois supérieures à la norme pour le Pélosol, le Sol Brun Intermédiaire et le Sol Brun Lessivé respectivement. Ainsi des produits comme l'**isoproturon**, dont la persistance est relativement courte peuvent s'avérer **très** polluants, si **d'importantes** précipitations interviennent après le traitement.

3 - Résidus exportés vers les eaux de surface par le drainage

Les figures 2 et 3 présentent l'évolution des quantités cumulées de pesticides transférés vers les eaux de surface (les valeurs ayant servi au tracé de ces courbes sont données en annexe). Il faut noter que pour des raisons de présentation, les valeurs de la bentazone ont dû être divisées par 10 tandis que celle de l'isoproturon ont été divisées par 10 ou 30 suivant le type de sol.

L'examen de ces figures montre un transfert discontinu des produits quel que soit le sol. La progression des quantités transportées est associée à de forts drainages même lorsque les produits ont été appliqués récemment.

Comme le montre le tableau ci-dessous, les quantités totales transférées sont faibles par référence à celles enregistrées en 1992 pour ces mêmes sols. L'isoproturon fait toutefois exception, mais dans ce cas la pluviométrie et le drainage interviennent immédiatement après l'application de l'herbicide.

Pour les conditions climatiques rencontrées, l'isoproturon s'avère plus polluant que la bentazone qui reste toutefois une molécule facilement entraînée. Par contre, l'alachlore, comme en 1992, demeure un produit peu polluant

Il est à souligner que les antécédents atrazine donnent, tant en matière active qu'en dé-éthylatrazine, des résultats qui indiquent une tendance à l'épuisement du stock de résidus dans les sols, en particulier pour le Sol Brun Lessivé, mais cela reste à confirmer car leur libération est étroitement liée à l'activité biologique des sols et donc au climat. Par ailleurs les exportations des produits suivis en 93 sont également en baisse par rapport à 1992.

Sols	Total des produits transportés (mg.ha ⁻¹)					
	Année	Atrazine	DEA	Alachlore	Bentazone	Isoproturon
Pélosol	1992	1014	1934	1611	12683	
	1993-94	285	529	128	1493	6165
Sol Brun Lessivé	1992	285	648	120	626	
	1993-94	75	60	9	1108	8181

4 - Transferts vers la nappe

Les calculs effectués à ce niveau sont à considérer avec beaucoup de précautions car, d'une part il nous manque les valeurs concernant le ruissellement, et d'autre part il n'est pas exclu que le ruissellement du Sol Brun Lessivé n'alimente pas le pélosol. Enfin on notera que pour le Pélosol il se forme exclusivement une nappe perchée.

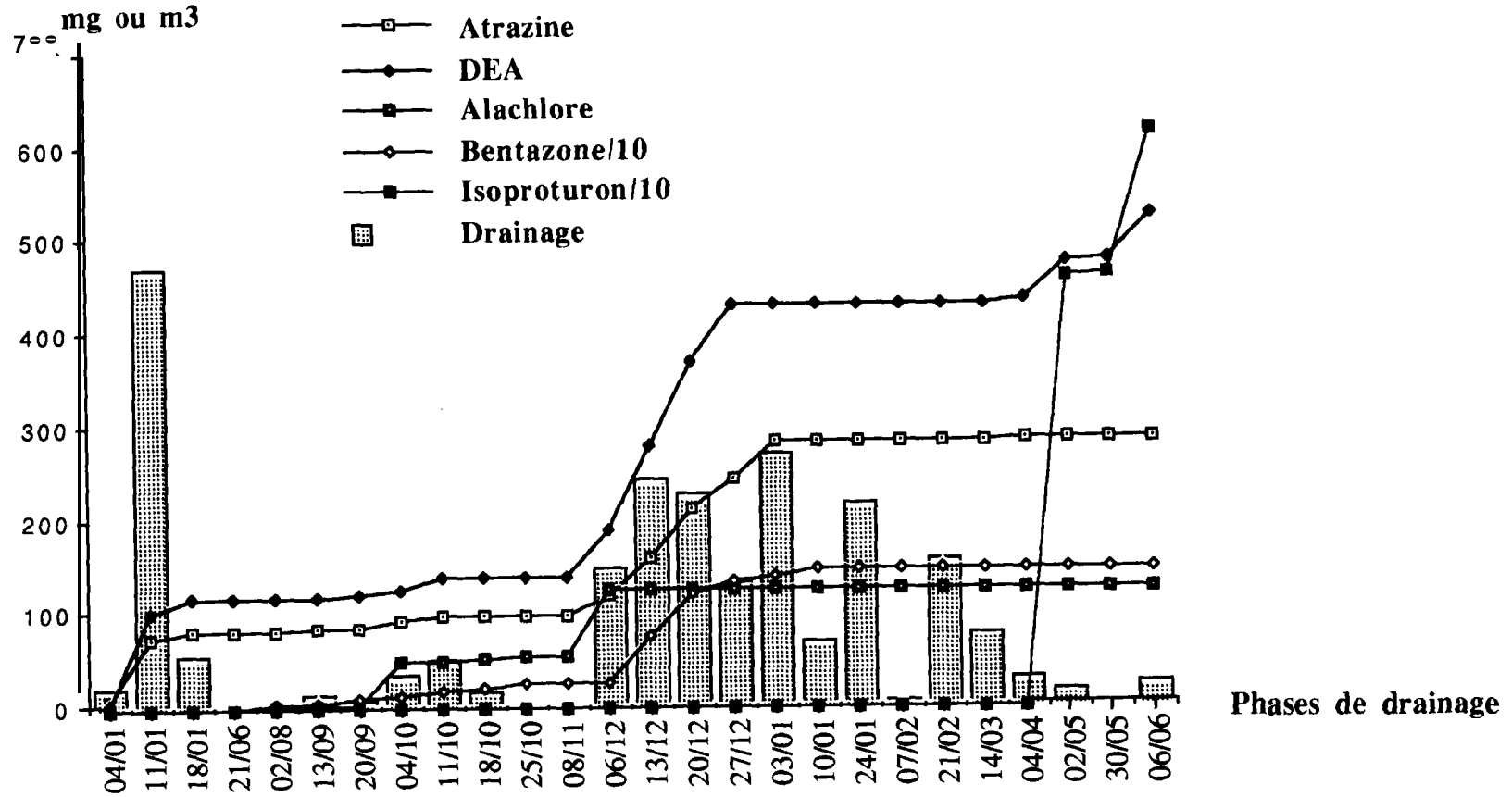


Figure 2 : Pesticides exportés par les eaux de drainage du Pélosol de janvier 1993 à juillet 1994

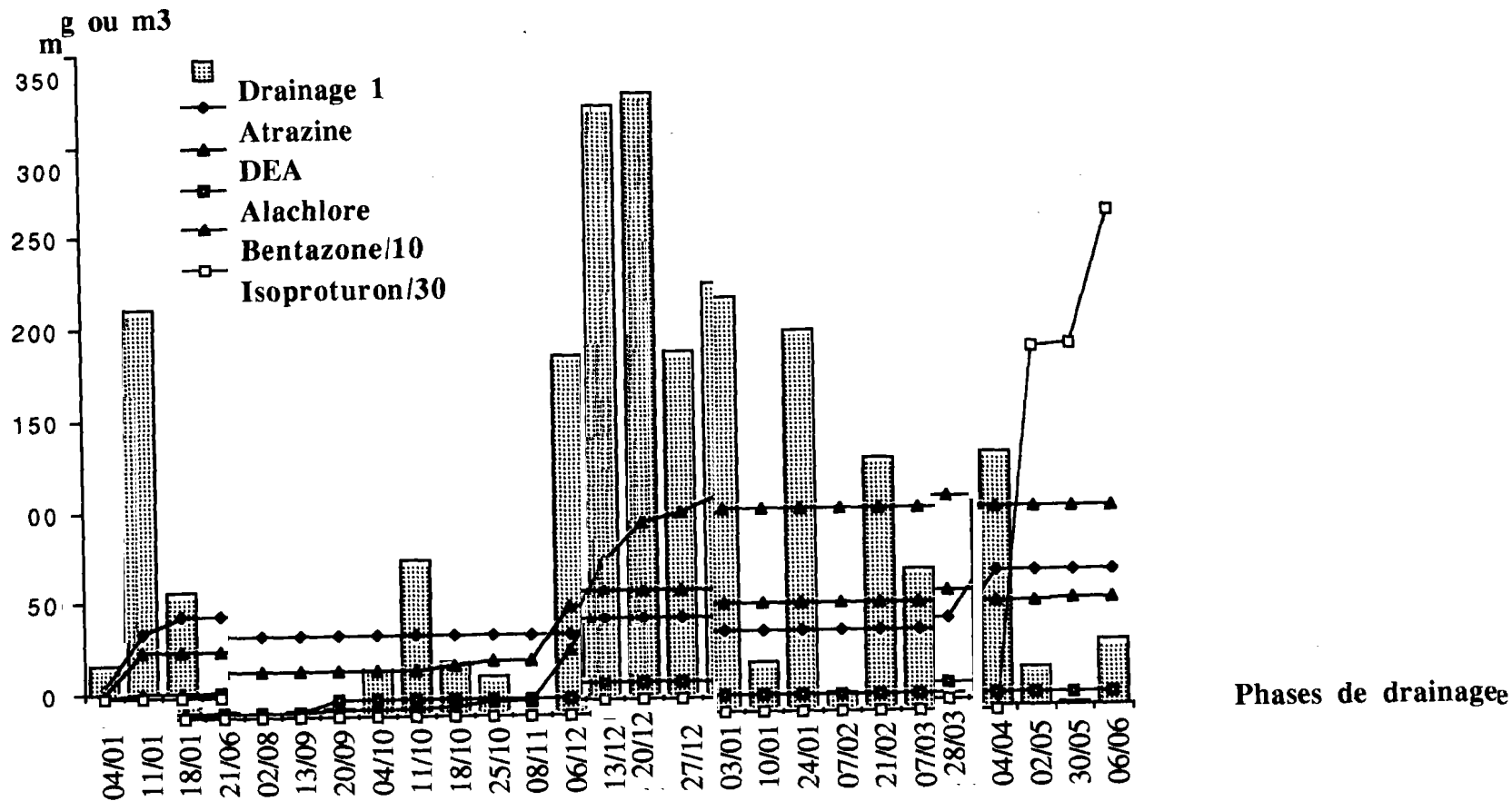


Figure 3 : Pesticides exportés par les eaux de drainage du Sol Brun Lessivé de janvier 1993 à juillet 1994

Tableau X : Volumes drainés et **quantités** cumulées de **résidus** exportés par les eaux de drainage du **Pélosol**

Phases de drainage	Précipitations mm	Drainage mm	ETP mm	A mm	Quantité éventuellement entraînées vers la nappe (mg)				
					Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore	Isoproturon
04/01/93-11/01	8,4	1,72	3,29	3,08	0,0	0,0	0,0	0,0	
11/01-18/01	41,4	47,03	4,87	-10,16	0,0	0,0	0,0	0,0	
18/01-01/02	16,0	5,37	5,16	5,70	0,0	0,0	0,0	0,0	
21/06-28/06	20,8	0,13	30,52	-9,85	0,0	0,0	0,0	0,0	
02/08-09/08	0,2	0,28	33,92	-34,00	0,0	0,0	0,0	0,0	
13/09-20/09	34,2	0,98	15,43	17,79	21,348	26,685	877,047	+	
20/09-04/10	50,0	0,61	14,10	35,29	52,935	70,580	642,278	+	
04/10-11/10	32,6	3,29	10,17	19,14	40,194	32,538	325,380	281,358	-
11/10-18/10	31,4	4,90	6,25	20,25	28,350	56,700	127,575	0,0	
18/10-25/10	11,2	1,23	2,74	7,23	0,0	0,0	0,0	0,0	
25/10-01/11	0,0	0,04	4,90	-4,94	0,0	0,0	0,0	0,0	
08/11-22/11	10,6	0,03	6,87	3,70	0,0	0,0	0,0	0,0	-
06/12-13/12	35,4	14,54	1,91	18,95	28,425	64,430	667,04	94,75	-
13/12-20/12	43,6	24,02	0,51	19,07	30,512	70,559	348,981	0,0	
20/12-27/12	44,0	22,57	0,95	20,54	47,242	84,214	121,186	0,0	
27/12-03/11/94	34,6	12,87	1,35	20,38	50,950	93,748	89,672	0,0	
03/01-10/01	24,8	26,72	1,22	-3,14	0,0	0,0	0,0	0,0	
10/01-24/01	8,4	6,55	3,38	-1,53	0,0	0,0	0,0	0,0	
24/01-07/02	46,4	21,43	4,08	20,89	0,0	0,0	0,0	0,0	
07/02-21/02	11,2	0,14	7,06	4,00	0,0	0,0	0,0	0,0	
21/02-07/03	28,2	15,45	11,96	0,79	0,0	0,0	0,0	0,0	
14/03-28/03	42,6	7,52	14,76	20,32	0,0	0,0	0,0	0,0	
04/04-18/04	45,4	2,65	19,43	23,32	37,312	44,308	121,264	0,0	
02/05-30/05	66,4	1,27	78,02	-12,89	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30/05-06/06	29,4	0,03	26,99	2,38	0,0	141,848	0,0	0,0	3516,688
06/06-20/06	22,6	2,02	59,35	-38,77	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total					337,268	685,610	3320,423	376,108	35116,688
Volume d'eau contaminée à équivalent 0,1µg l⁻¹ (m³)					3372	6856	33204	3761	35169

17

Tableau XI : Volumes drainés et **quantités cumulées** de résidus exportés par les eaux de drainage du Sol Brun Lessivé

Phases de drainage	Précipitations mm	Drainage mm	ETP mm	A mm	Quantité éventuellement entraînées vers la nappe (mg)				
					Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore	Isoproturon
04/01/93-11/01	8,4	1,61	3,29	3,24	6,48	3,56	5,18	0,0	
11/01-18/01	41,4	21,06	4,87	15,81	22,13	17,39	14,23	0,0	
18/01-01/02	16,0	5,50	5,16	5,59	10,06	+	0,0	0,0	-
21/06-28/06	20,8	0,13	30,52	-9,85	0,0	0,0	0,0	0,0	-
02/08-09/08	0,2	0,06	33,92	-33,96	0,0	0,0	0,0	0,0	-
13/09-20/09	34,2	0,10	15,43	18,67	0,0	0,0	326,725	0,0	-
20/09-04/10	50,0	0,25	14,10	35,65	0,0	+	331,545	926,900	-
04/10-11/10	32,6	2,47	10,17	19,96	+0,0	+		0,0	-
11/10-18/10	31,4	8,28	6,25	16,87	0,0	8,435	1,183	0,0	-
18/10-25/10	11,2	2,81	2,74	3,65	0,0	6,215	20,34	0,0	-
25/10-01/11	0,0	1,95	4,90	-6,85	0,0	0,0	0,0	0,0	-
08/11-22/11	10,6	0,05	6,87	3,68	0,0	2,944	39,744	0,0	-
06/12-13/12	35,4	19,49	1,91	14,00	0,0	21,00	198,800	0,0	-
13/12-20/12	43,6	32,41	0,51	10,68	0,0	0,0	131,364	0,0	-
20/12-27/12	44,0	33,07	0,95	9,98	0,0	0,0	63,872	0,0	-
27/12-03/11/94	34,6	18,87	1,35	14,38	0,0	0,0	46,016	0,0	-
03/01-10/01	24,8	22,59	1,22	0,99	0,0	0,0	3,762	0,0	-
10/01-24/01	8,4	2,46	3,38	2,56	0,0	0,0	0,0	0,0	-
24/01-07/02	46,4	20,74	4,08	21,58	0,0	0,0	0,0	0,0	-
07/02-21/02	11,2	0,83	7,06	3,31	0,0	0,0	0,0	0,0	-
21/02-07/03	28,2	13,65	11,96	2,59	0,0	0,0	0,0	0,0	-
07/03-28/03	50,4	7,54	21,85	20,90	0,0	0,0	0,0	0,0	-
28/03-04/04	9,2	0,16	10,38	-1,34	0,0	0,0	0,0	0,0	-
04/04-18/04	45,4	13,86	19,43	12,11	27,853	0,0	0,0	0,0	-
02/05-30/05	66,4	2,12	78,02	-15,54	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30/05-06/06	29,4	0,11	26,99	2,30	0,0	16,100	0,0	0,0	713,920
06/06-20/06	22,6	3,59	59,35	-40,34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total					66,523	75,644	1196,761	926,900	713,92
Volume d'eau contaminée à équivalent 0,1µg l⁻¹ (m³)					665	756	11967	9269	7139

18

La prise en compte de la pluviométrie et de l'ETP (tableau X et XI) nous montre que les volumes concernés dans l'alimentation de la nappe sont, pour 1993-94 nettement supérieurs à ceux calculés pour 1992 : 2628 m³ pour le Pélosol et 2385 m³ pour le Sol Brun Lessive. Cette alimentation n'est vraiment importante qu'en période hivernale (septembre 93 à janvier 94). On notera, à certaines périodes, un fonctionnement du drainage alors que le bilan hydrique est déficitaire. L'eau des précipitations circule alors directement par les fissures du sol vers les drains. Dans ce cas, on peut penser que la nappe n'est pas alimentée. On peut également observer au cours d'une période de drainage une première phase où le bilan hydrique est excédentaire, suivie d'un déficit qui compense sensiblement l'excédent. Ceci constitue également une situation où l'alimentation de la nappe n'est pas **réalisée**.

Les quantités transportées sont globalement **inférieures** au gramme (tableau X et XI) sauf pour la bentazone et l'isoproturon qui atteignent près de **3,5 g** pour le pélosol.

S - Dosage des résidus dans le sol

a - Carbofuran

Ce produit est appliqué sur la ligne de semis et sa persistance est relativement courte. Son dosage dans les 3 sols s'est **avéré** négatif après une période d'un mois. Sa disparition **très** rapide peut s'expliquer par une dégradation biologique particulièrement active, favorisée par **l'humidité** et la température du sol rencontrées à cette époque. On soulignera cependant les difficultés d'échantillonnage liées à ce type de traitement, car tout écart du prélèvement par rapport à la ligne de semis conduit à une dilution des résidus. Ainsi, pour ce produit aucun mouvement dans le sol n'a pu être mis en évidence, cependant on rappellera que des traces ont été observées dans les eaux de drainage du Pélosol.

b - Alachlore

Cette matière active apparaît comme peu mobile puisque d'une part sa présence dans les eaux de drainage est limitée tant du point de vue concentration que durée et d'autre part, aucun mouvement important n'est observé dans les sols, excepté cependant pour le Sol Brun Intermédiaire (tableaux XII). Dans ce sol, le produit est dosé dans le niveau 5-10 cm à des concentrations significatives 2 et 4 mois **après** le traitement et même dans le niveau **10-15**, 4 mois après. Or il apparaît dans les eaux de drainage du Sol Brun Intermédiaire à l'état de traces contrairement à ce qui est observé pour les 2 autres sols. Ceci constitue une situation **difficile** à expliquer en l'absence de connaissances **précises** sur les interactions entre les sols suivis et cette **matière** active.

c - Bentazone

Ce produit passe facilement dans l'eau, cependant son mouvement dans les sols étudiés est similaire à celui observé pour **l'alachlore** (tableau XIII). Ici encore on note la situation

Tableau XII : Dosage des **résidus** d'alachlore dans les différents sols après traitement à la dose de 2591 g de m. a. par hectare. Résultats exprimés en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de sol sec.

Sols	Traitement : le 5 Mai 1993			
	Niveaux (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20
Pélosol	3,19	0	0	0
Sol Brun	2,94	0	0	0
Sol Brun Intermédiaire	3,01	0	0	0
	Dosage du 7 juillet 1993			
Pélosol	0,40	0	0	0
Sol Brun	0,24	0	0	0
Sol Brun Intermédiaire	0,16	0,15	0	0
	Dosage du 9 septembre 1993			
Pélosol	0,05	0	0	0
Sol Brun	0,13	0	0	0
Sol Brun Intermédiaire	0,06	0,06	0,03	0

Tableau XIII : Dosage des résidus de bentazone dans les différents sols après traitement à la dose de 864 g de m. a. par hectare. Résultats exprimés en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de sol sec.

Sols	Traitement : le 9 juin 1993			
	Niveaux (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20
Pélosol	1,22	0,0	0,0	0,0
Sol Brun	0,94	0,0	0,0	0,0
Sol Brun Intermédiaire	0,99	0,0	0,0	0,0
	Dosage du 7 juillet 1993			
Pélosol	0,26	+	0,0	0,0
Sol Brun	0,07	0,0	0,0	0,0
Sol Brun Intermédiaire	0,51	0,09	0,0	0,0
	Dosage du 9 septembre 1993			
Pélosol	0,0	0,0	0,0	0,0
Sol Brun	+	0,0	0,0	0,0
Sol Brun Intermédiaire	0,05	0,0	0,0	0,0

du Sol Brun Intermédiaire qui constitue le seul sol où des résidus sont dosés dans le niveau 5-10 cm 2 mois après le traitement. Cependant, contrairement à l'alachlore, la bentazone est **présente** dans les eaux de drainage de ce sol à des concentrations élevées pendant une durée de plus de 7 mois. Ici encore, l'étude des interactions sols-bentazone s'impose pour expliquer ces résultats.

d - Isoproturon

La disparition de cet herbicide est particulièrement rapide dans le Sol Brun Lessivé et le Sol brun intermédiaire. Pour le Pélosol, la demi-vie observée se rapproche de celle déterminée en 1992 par Perrin-Ganier (1994), à savoir 50 jours. Cette disparition a été favorisée à la fois par une biodégradation intense (chaleur et humidité), ce qui explique la détection fréquente du diméthylisoproturon, et par le lessivage. En effet, 15 jours après le traitement (39,2 mm de pluie) des résidus sont dosés dans le niveau 5-10 cm des 3 sols et des quantités

Tableau XIV : Dosage des résidus d'isoproturon dans les différents sols après traitement à la dose de 1500 g de m. a. par hectare. Résultats exprimés en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de sol sec.

Sols	Traitement : le 24/05/1994				
	Niveaux (cm)				
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15-20	40-45
Pélosol	1,84	0,0	0,0	0,0	0,0
Sol Brun	1,60	0,0	0,0	0,0	0,0
Sol Brun Intermédiaire	1,78	0,0	0,0	0,0	0,0
	Dosage du 08/06/94				
Pélosol	1,09#	0,14	0,01#	0,0	0,0
Sol Brun	0,20	0,10#	0,0	0,0	0,0
Sol Brun Intermédiaire	0,94	0,03	0,0	0,0	0,0
	Dosage du 24/06/94				
Pélosol	0,68#	0,04#	0	0,0	0,03*
Sol Brun	0,08#	0,0	0	0,0	0,0
Sol Brun Intermédiaire	0,08#	0,007#	0	0,0	0,02
	Dosage du 25/07/94				
Pélosol	0,29#	0,04	0,0	0,0	0,009
Sol Brun	0,02	0,0	0,0	0,0	0,0
Sol Brun Intermédiaire	0,18#	0,003#	0,0	0,0°	0,17#

(#) Présence du métabolite diméthylé ; (*) pic non pur

E. L. Kruger, L. Somasundaram, S. Kanwar, J. R. Coats, 1993 : **Persistence** and degradation of ^{14}C atrazine and ^{14}C deisopropyl-atrazine as **affected** by soil depth and moisture conditions. Environ. Toxicol. Chem. , 12, 1959-1967

C. Perrin-Ganier, 1994 : Les persistances de l'isoproturon. soumis à Agronomie.

G. Saikaly, 1993 : Étude comparative de la dissipation de l'alachlore et de la bentazone en milieu contrôlé. Rapport de stage **DEA**. INPL-ENSAIA, 15 p.

M. Schiavon, F. Jacquin, 1974 : Étude de la **présence** d'atrazine dans les eaux de drainage. C. R. Columa, Versailles 13-14 décembre 1973.35-43

M. **Schiavon**, 1980 : Contribution à l'étude du mouvement et de la dégradation de l'atrazine dans deux sols agricoles drainés. INPL, Thèse d'État. 193 p.

ANNEXES

Volumes drainés et quantités cumulées de **résidus** exportés par les eaux de drainage du Pélosol

Phases de drainage	Volume drainé m ³	Quantité cumulées de pesticides exportés (mg.ha ⁻¹)			
		Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore
04/01/93-11/01	17,15	4,783	5,137	6,909	0
11/01-18/01	470,306	70,626	103,901	"	"
18/01-01/02	53,746	79,763	118,412	"	"
21/06-28/06	1,306	80,220	119,156		"
02/08-09/08	2,751	"	"	51,052	1,437
13/09-20/09	9,773	81,393	120,622	65,302	"
20/09-04/10	6,126	82,312	121,847	113,483	
04/10-11/10	32,921	89,225	127,444	124,632	49,831
11/10-18/10	49,043	96,091	141,176	180,598	"
18/10-25/10	12,297	"	"	211,495	
25/10-01/11	0,394	"	141,349	263,142	53,643
08/11-22/11	0,331	"	141,471	265,183	54,746
06/12-13/12	145,412	117,903	190,911	266,222	55,153
13/12-20/12	240,199	156,335	279,785	778,072	127,859
20/12-27/12	225,666	208,238	372,308	1217,636	"
27/12-03/11/94	128,736	240,362	43 1,527	1350,779	"
03/01-10/01	267,197	280,442	"	1407,423	"
10/01-24/01	65,534	"	"	1492,926	"
24/01-07/02	214,275	"	"	"	"
07/02-21/02	1,389	"	"	"	"
21/02-07/03	154,485	"	"	"	"
14/03-28/03	75,193	"	"	"	"
04/04-18/04	26,485	284,682	436,557	"	"
Total		284,682		1492,926	127,859
	m ³		DEA	Isoproturon	
02/05-30/05	12,654		477,557	4602,00	
30/05-06/06	0,301		479,347	4646,47	
06/06-20/06	20,200		528,837	6165,51	
Total			528,837	6165,51	

Volumes drainés et quantités cumulées de résidus exportés par les eaux de drainage du Sol Brun Lessivé

Phases de drainage	Volume drainé m3	Quantité cumulées de pesticides exportés (mg.ha ⁻¹)			
		Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore
04/01/93-11/01	16,103	3,221	1,771	2,576	0
11/01-18/01	210,615	32,707	24,939	21,531	0
18/01-01/02	55,040	42,614	"	21,531	0
21/06-28/06	1,366	42,662	25,199	27,951	2,869
02/08-09/08	0,580	"	"	29,413	"
13/09-20/09	1,026	"	"	31,209	"
20/09-04/10	2,526	"	"	33,558	9,437
04/10-11/10	24,770	"	"	"	"
11/10-18/10	82,867	"	"	37,701	"
18/10-25/10	28,161	"	28,297	47,839	"
25/10-01/11	19,529	"	30,445	74,203	"
08/11-22/11	0,478	"	30,483	74,719	"
06/12-13/12	194,936	"	59,723	351,548	"
13/12-20/12	324,136	"	"	750,235	"
20/12-27/12	330,738	"	"	961,908	"
27/12-03/11/94	188,677	"	"	1022,285	"
03/01-10/01	225,898	"	"	1108,126	"
10/01-24/01	24,587	"	"	"	"
24/01-07/02	207,447	"	"	"	"
07/02-21/02	8,316	"	"	"	"
21/02-07/03	136,502	"	"	"	"
07/03-28/03	75,372	"	"	"	"
28/03-04/04	1,567	"	"	"	"
04/04-18/04	138,637	74,552	"	"	"
Total		74,552	59,723	1108,126	9,437
	m3		DEA	Isoproturon	
02/05-30/05	21,244			5984,00	
30/05-06/06	1,064		60,463	6017,03	
06/06-20/06	35,879		"	8181,25	
Total			60,463	8181,25	