

Institut National Polytechnique
de Lorraine.

Ecole 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**

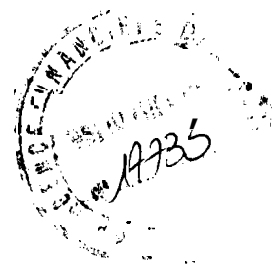
**ETUDE DU TRANSFERT PAR LES EAUX DE DRAINAGE
DE DIVERS PRODUITS PHYTOSANITAIRES
DANS DEUX SOLS DE LORRAINE**

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

Juillet 1993

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

**ÉTUDE DU TRANSFERT PAR LES EAUX DE DRAINAGE
DE DIVERS PRODUITS PHYTOSANITAIRES
DANS DEUX SOLS DE LORRAINE**



INTRODUCTION

Le devenir d'un produit **phytosanitaire** parvenant à la surface du sol, soit par application directe, 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 liées) , sur 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 extrêmement faibles. 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 (matière active et métabolites) par lessivage 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 dans les eaux de drainage et l'établissement d'un bilan hydrique, il est donc possible de quantifier, par excès, les transferts vers la nappe. La valeur est en effet donnée par excès, car une partie des **excédants** d'eau, parfois riche en résidus, est évacuée par ruissellement.

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 d'emploi de l'atrazine en Allemagne ou 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 la réduction de dose qui limite le contrôle des adventices, il convient de trouver des solutions de remplacement à l'atrazine. Ces solutions doivent répondre à des exigences agronomiques, sans toutefois présenter autant de risques pour la pollution de l'eau.

L'objectif de cette étude était de suivre la teneur en **résidus** des eaux de drainages de deux types de sols cultivés en maïs et traités par l'association de deux produits : alachlore et bentazone, pouvant assurer le remplacement de l'atrazine.

Dans la mesure où les parcelles utilisées avaient fait l'objet d'un traitement systématique à l'atrazine entre 1967 et 1988, il a été également suivi les **résidus** dans l'eau 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, il s'agissait alors d'en déduire les quantités transférées vers les eaux de surface et la nappe.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1 - Les sols

L'étude a été **réalisée** sur deux sols agricoles, typiques de la lorraine : un pélosol et un sol brun lessivé. 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 1. Ces sols se caractérisent par une teneur en carbone très proche, mais leur granulométrie est très différente. Ceci se traduit par une différence marquée dans leur conductivité hydraulique. **Évaluée** au laboratoire, en milieu saturé, elle est égale pour l'horizon Ap, à $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ cm.s}^{-1}$ pour le pélosol, et à $2,6 \cdot 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$ pour le sol brun.

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques des 2 sols

Niveaux	pH (eau)	Granulométrie					cEc*	%C	
		0-2μ A	2-20μ 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	
20-40		43,6	32,0	7,4	3,4				6,4
Sol brun									
O-20	6,2	24,2	32,5	15,5	5,3	15,0	14,2	1,4	
20-40		29,8	31,9	17,9	4,7				11,3
40-60		34,7	34,8	10,6	4,1				8,9

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

2 - Les traitements et les doses

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 : dates de traitement, produit commercial, matière active et dose en kg de **m.a./ha**.

Tableau II : Les traitements phytosanitaires

Date de traitement	Produit commercial	Matière active	dose : kg.ha⁻¹
07/05/92	Espadon	Carbofuran	0,350
14/05/92	Lasso	Alachlore	2,0
	Basamaïs	Bentazone	0,8

3 - le dispositif expérimental

Comme le montre la figure 1, les deux sols étudiés se trouvent individualisés en deux grandes parcelles juxtaposées, chacune **équipée** d'un **réseau** de drainage indépendant. Chaque **réseau** est relié à un collecteur qui aboutit à un déversoir permettant la mesure du débit.

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 constitue la butte même et sa pente est de 4 à 6 %.

4 - Conditionnement des prélèvements d'eau

A partir de l'échantillon moyen obtenu (de l'ordre de 10 l), une aliquote de 4 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 2 à 4000).

5 - Dosage des résidus

a) Chromatographie Liquide Haute Performance

Sont concernés par cette technique de dosage, l'**alachlore** et la bentazone.

Le tableau III, nous donne pour les 2 produits, les bandes d'absorption dans l'**U.V.** et les temps de rétention en fonction des colonnes et des **éludants** utilisés, pour un débit de **0,8 ml/mn**. Dans tous les cas, la limite de détection de **0,1 µg.l⁻¹** est atteinte (limite de détection de l'appareil : **0,5 mg.l⁻¹**).

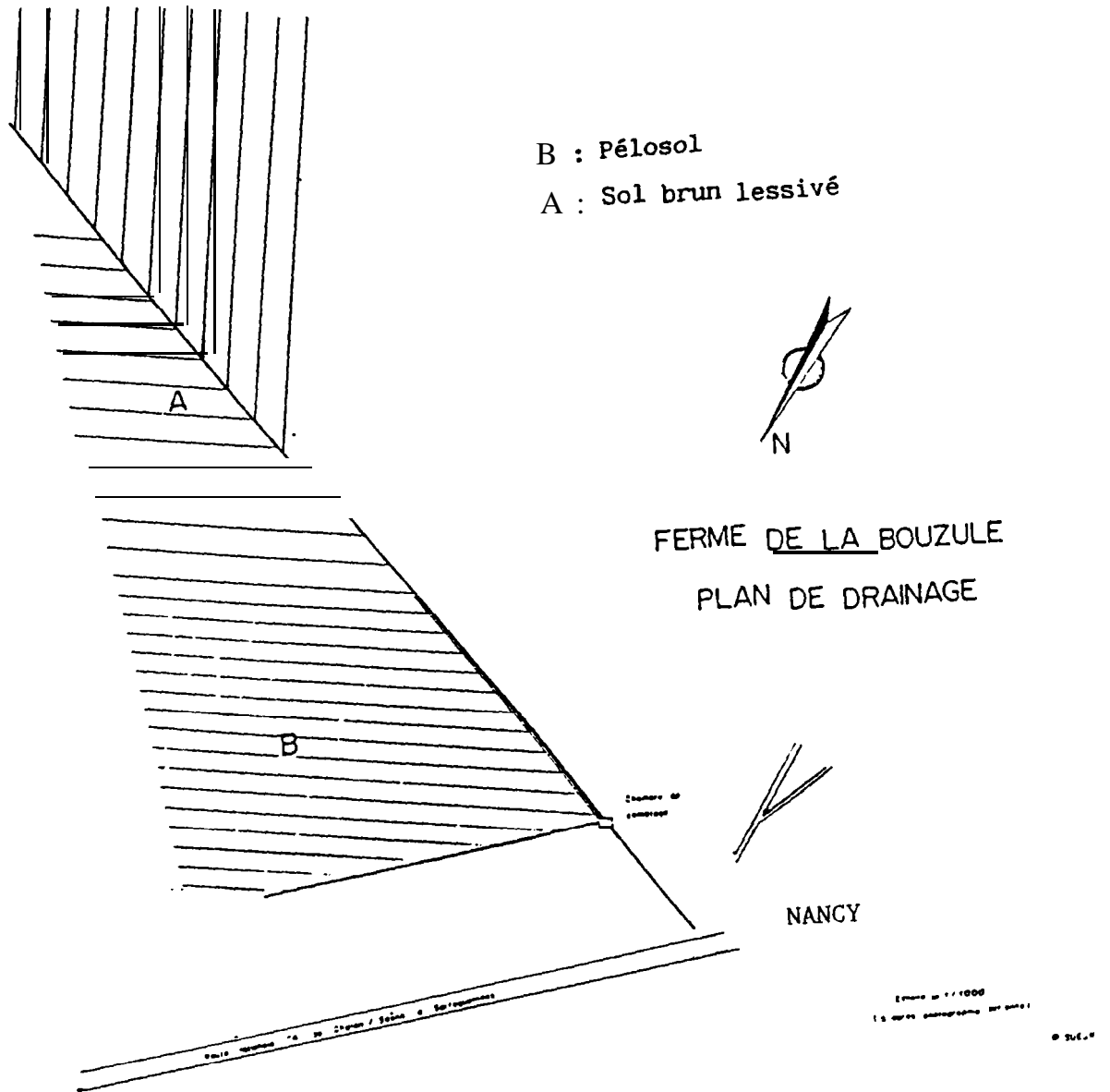


Tableau III : Bandes d'absorption dans l'U.V., temps de rétention et colonnes utilisées pour le dosage des produits phytosanitaires recherchés.

Produits	Eluants	Δ (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

b) Chromatographie en phase gazeuse

Cette technique a été **utilisée** pour le dosage de **l'atrazine et ses métabolites chlorés**.

Les conditions de travail sont les suivantes :

- . Appareil : Varian 3300
- . Détecteur : TSD (Thermoïonique)
- . 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 μ l injecté. Ceci conduit à une limite de détection inférieur à **0,1 μ g** d'atrazine par litre d'eau. Cette limite de détection est de \approx **0,2 μ g.l⁻¹** pour le dé-éthylatrazine et de \approx **0,5 μ g.l⁻¹** pour le dé-isopropylatrazine.

RÉSULTATS

1 - Pluviométrie, drainage et prélèvements

La période de suivi considérée (janvier 1992 - mars 1993) se caractérise par une relative sécheresse. Le déficit hydrique est de **140, 8 mm** par rapport à la normale sur 30 ans (1960 - 1989). Comme le montre le relevé ci-dessous, se sont plus particulièrement les 2 périodes hivernales qui sont déficitaires en eau.

Pluvio* . mm	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Wv	Mars
Écart [°]	-36,0	-14,5	+7,7	-16,4	-44,9	-32,2	+23,0	+19,7	-30,2	+16,7	+62,2	-23,4	+11,0	-35,5	-47,7
Normale	54,2	49,5	54,9	51,1	75,5	74,2	62,6	68,9	61,2	60,1	66,6	64,7	54,8	49,5	54,9

(*) : **Pluviométrie** ; (°) : écart à la normale en mm

Ces conditions climatiques ont entraîné 6 grandes phases de drainage dont les plus importantes ont été subdivisées pour les dosages, en périodes d'une semaine. Ceci a conduit à 18 prélèvements pour chaque sol sur l'ensemble du suivi. Les tableaux IV, V, VI et VII donnent le détail des **résultats** enregistrés.

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 les parcelles utilisées aient été arrêtés en 1988, on peut constater la **présence** de cette matière active et de son **métabolite** majeur : la dé-éthylatrazine d'une manière quasi régulière et à des concentrations supérieures à **0,1 µg.l⁻¹**. On peut également observer que (tableaux VIII et IX) la dé-isopropylatrazine n'est rencontrée que d'une manière très aléatoire. Ceci a pu être constaté même au niveau d'un troisième sol (sol brun intermédiaire) traité par cet herbicide l'année précédant l'utilisation de l'association : **alachlore-bentazone** (tableau X).

On soulignera enfin, un effet sol, dans la mesure où, d'une manière générale, la teneur en résidus des eaux du pélosol sont plus fortes que celles du sol brun et un effet délai entre le dernier traitement à l'atrazine et le moment du dosage. La comparaison des teneurs en résidus entre les eaux du sol brun intermédiaire (délai 1 an) et celles du pélosol (délai 4 ans) dont les propriétés physico-chimiques sont proches (tableaux VIII et X) nous montre qu'une période de 4 ans sans traitement n'a conduit qu'à une faible diminution du niveau de résidus dans les eaux de drainage de ce dernier.

On peut penser que les résidus exportés par l'eau en l'absence de traitement récent ont pour origine la libération de résidus "liés" stockés dans le sol. Cette libération serait consécutive à un remaniement de la matière organique endogène, due, soit à une réactivation de l'activité biologique, soit à des alternances dessiccation-humectation du sol. En effet, il semble que les teneurs en **résidus** s-triaziniques augmentent à la sortie hiver et au courant de la période estivale.

Aha

Tableau IV : **Pluviométrie** et drainage enregistrés pour le Pélosol au cours de l'année 1992

Dates 1992	Précipitations mm	Drainage m3	Dates 1992	Précipitations mm	Drainage m3
06/01 - 13/01	10,2	18,179	29/06 - 06/07	36,6	0
13/01 - 20/01	4,2	15503	06/07 - 13/07	43,2	153201
20/01 - 27/01	4,0	28,386	13/07 - 20/07	2,0	0,0
27/01 - 03/02	0,0	0,0	20/07 - 27/07	3,4	0,0
03/02 - 10/02	12,2	104,161	27/07 - 03/08	0,4	0,0
10/02 - 17/02	22,2	145,569	03/08 - 10/08	8,6	0,0
17/02 - 24/02	6,0	3,790	10/08 - 17/08	23,8	1,440
24/02 - 02/03	0,0	0,0	17/08 - 24/08	26,0	0,0
02/03 - 09/03	2,0	0,0	24/08 - 31/08	14,0	0,0
09/03 - 16/03	33,0	138,145	31/08 - 07/09	39,6	0,0
16/03 - 23/03	10,0	47,921	07/09 - 14/09	4,6	≠ 0,2
23/03 - 30/03	17,2	134,068	14/09 - 21/09	8,8	0,0
30/03 - 06/04	3,8	0,0	21/09 - 28/09	1,4	0,0
06/04 - 13/04	0,0	0,0	28/09 - 05/10	7,0	0,0
13/04 - 20/04	21,4	35,710	05/10 - 12/10	14,0	0,0
20/04 - 27/04	2,8	0,0	12/10 - 19/10	3,6	0,0
27/04 - 04/05	20,8	8,678	19/10 - 26/10	38,4	21,741
Semis du maïs et traitement au curater le 07/05			26/10 - 02/11	16,2	30,238
04/05 - 11/05	1,0	0,0	02/11 - 09/11	8,8	3,529
11/05 - 18/05	1,8	0,0	09/11 - 16/11	46,8	284,469
Traitements à l'alachlore et la bentazone			16/11 - 23/11	40,0	278,961
18/05 - 25/05	1,2	0,0	23/11 - 30/11	33,2	172,637
25/05 - 01/06	11,8	0,0	30/11 - 07/12	21,4	131,346
01/06 - 08/06	0,0	1,517	07/12 - 14/12	14,2	50,260
08/06 - 15/06	10,2	0,0	14/12 - 21/12	3,0	1,081
15/06 - 22/06	3,8	0,0	21/12 - 28/12	2,7	9,662
22/06 - 29/06	0,2	0,0	28/12 - 04/01/93	0	0,0

Tableau V : **Pluviométrie** et drainage enregistrés pour le Sol Brun au cours de l'**année 1992**

Dates 1992	Précipitations mm	Drainage m3	Dates 1992	Précipitations mm	Drainage m3
06/01 - 13/01	10,2	19,685	29/06 - 06/07	36,6	0,0
13/01 - 20/01	4,2	15,732	06/07 - 13/07	43,2	67,565
20/01 - 27/01	4,0	34,557	13/07 - 20/07	2,0	0,0
27/01 - 03/02	0,0	0,0	20/07 - 27/07	3,4	0,0
03/02 - 10/02	12,2	78,397	27/07 - 03/08	0,4	0,0
10/02 - 17/02	22,2	131,424	03/08 - 10/08	8,6	0,0
17/02 - 24/02	6,0	30,444	10/08 - 17/08	23,8	0,607
24/02 - 02/03	0,0	0,0	17/08 - 24/08	26,0	0,0
02/03 - 09/03	2,0	0,0	24/08 - 31/08	14,0	0,0
09/03 - 16/03	33,0	53,231	31/08 - 07/09	39,6	0,0
16/03 - 23/03	10,0	23,647	07/09 - 14/09	4,6	0,0
23/03 - 30/03	17,2	120,816	14/09 - 21/09	8,8	0,0
30/03 - 06/04	3,8	6,446	21/09 - 28/09	1,4	0,0
06/04 - 13/04	0,0	0,0	28/09 - 05/10	7,0	0,0
13/04 - 20/04	21,4	7,455	05/10 - 12/10	14,0	0,0
20/04 - 27/04	2,8	0,0	12/10 - 19/10	3,6	0,0
27/04 - 04/05	20,8	1,614	19/10 - 26/10	38,4	2,578
Semis du maïs et traitement au curater le 07/05			26/10 - 02/11	16,2	3,688
04/05 - 11/05	1,0	0,0	02/11 - 09/11	8,8	2,879
11/05 - 18/05	1,8	0,0	09/11 - 16/11	46,8	130,636
Traitements à l'alachlore et à la bentazone le 14/05			16/11 - 23/11	40,0	238,006
18/05 - 25/05	1,2	0,0	23/11 - 30/11	33,2	176,962
25/05 - 01/06	11,8	0,0	30/11 - 07/12	21,4	158,583
01/06 - 08/06	0,0	11,802	07/12 - 14/12	14,2	62,861
08/06 - 15/06	10,2	0,0	14/12 - 21/12	3	16,497
15/06 - 22/06	3,8	0,0	21/12 - 28/12	2,7	13,916
22/06 - 29/06	0,2	0,0	28/12 - 04/01/93	0,0	0,0

Tableau VI : **Pluviométrie** et drainage enregistrés pour le **Pélosol** au cours de l'année 1993

Dates 1993	Précipitations mm	Drainage m3	Dates 1993	Précipitations mm	Drainage m3
04/01/93 - 11/01	8,4	17,715	08/03 - 15/03	0,0	0,0
11/01 - 18/01	41.4	470,306	15/03 - 22/03	0,8	0,0
18/01 - 25/01	13.4	42,152	22/03 - 29/03	6,2	0,0
25/01 - 01/02	2,8	11,594	29/03 - 05/04	6,0	0,0
01/02 - 08/02	0,0	0,0	05/04 - 12/04	18.5	0,0
08/02 - 15/02	0,0	0,0	12/04 - 19/04	2,5	0,0
15/02 - 22/02	8,2	0,0	19/04 - 26/04	0,0	0,0
22/02 - 01/03	5,8	0,0	26/04 - 03/05	1,5	0,0
01/03 - 08/03	0,2	0,0	Semis du maïs et traitement au curater le 29/04		

Tableau VII : **Pluviométrie** et drainage enregistrés pour le Sol Brun au cours de l'année 1993

Dates 1993	Précipitations mm	Drainage m3	Dates 1993	précipitations mm	Drainage m3
04/01/93 - 11/01	8,4	16,103	08/03 - 15/03	0,0	0,0
11/01 - 18/01	41.4	210,615	15/03 - 22/03	0,8	0,0
18/01 - 25P1	13,4	31,418	22/03 - 29/03	6,2	0,0
25/01 - 01/02	2,8	23,622	29/03 - 05104	6,0	0,0
01102 - 08/02	0,0	0,0	05/04 - 12/04	18,5	0,0
08/02 - 15/02	0,0	0,0	12/04 - 19/04	2,5	0,0
15102 - 22/02	8,2	0.0	19/04 - 26/04	0,0	0,0
22/02 - 01/03	5,8	0,0	26/04 - 03/05	1,5	0,0
01/03 - 08/03	0,2	0,0	Semis du maïs et traitement au curater le 29104		

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

Phases de drainage	Volume drainé m ³	Concentration en pesticides (µg l ⁻¹)				
		Atrazine	DEA	DIA	Bentazone	Alachlore
06/01 - 27/01/92	62,068	0,21	0,57	0,0		
03/02 - 24/02	253,520	0,41	0,74	0,0	-	-
09/03 - 16/03	138,145	0,44	0,61	0,0		
16/03 - 06/04	181,989	0,33	0,42	0,0		
13/04 - 04/05	44,388	0,47	0,56	0,0		
Traitement à l'alachlore et à la bentazone le 14/05/1992						
01/06 - 08/06	1,517*	0,61	0,36	0,0	2,48	1,54
06/07 - 13/07	153,201	1,70	2,97	0,57	78,45	9,26
20/07 - 17/08	1,440*	0,73	0,41	0,0	1,81	5,41
07/09 - 02/11	52,179	0,24	0,43	0,0	0,28	0,0
02/07 - 09/11	3,529*	0,09	0,28	0,0	4,24	0,0
09/11 - 16/11	284,469'	0,70	1,33	+	0,73	0,0
16/11 - 23/11	278,961'	0,61	0,86	+	0,53	0,0
23/11 - 30/11	172,637	≠	1,26	+	0,80	0,78
30/11 - 07/12	131,346	0,24	0,37	0,0	0,73	0,27
07/12 - 28/12	61,003	≠	0,73	0,0	0,54	0,21

04/01/93 - 11/01	17,715	0,27	0,29	0,0	0,39	0,0
11/01 - 18/01	470,306°	0,14	0,21	0,0	0,0	0,0
18/01 - 1/02	53,746	0,17	0,27	0,0	0,0	0,0

DEA : dé-éthylatrazine ; DIA : dé-isopropylatrazine

(*) échantillonnage au goutte à goutte ; (°) arrêt du préleveur avant la **fin** de la phase de drainage ; (≠) résidus non **dosables** en raison d'une **co-élution** de substances organiques ; (+) traces de résidus

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

Phases de drainage	Volume drainé m ³	Concentration en pesticides (µg l ⁻¹)				
		Atrazine	DEA	DIA	Bentazone	Alachlore
06/01 - 27/01/92	69,974	0,21	0,37	0,0		
03/02 - 24/02	240,265'	0,19	0,52	0,36		
09/03 - 16/03	53,231	0,15	0,31	0,0		
16/03 - 06/04	150,909	0,21	0,43	0,0		
13/04 - 04/05	9,069*	0,18	0,25	0,0		
Traitement à l'alachlore et à la bentazone le 14/05/1992						
01/06 - 08/06	11,802*	0,0	0,44	0,0	1,38	0,0
06/07 - 13/07	67,565	0,24	1,22	0,20	3,44	1,71
20/07 - 17/08	0,607*	0,40	1,52	0,0	3,07	0,0
07/09 - 02/11	6,266*	0,14	0,0	0,0	0,61	0,38
02/11 - 09/11	2,879''	0,0	0,0	0,0	0,50	0,79
09/11 - 16/11	130,636	0,16	1,83	0,0	0,53	0,0
16/11 - 23/11	238,006°	0,0	0,26	0,0	0,78	0,0
23/11 - 30/11	176,962	0,35	0,0	0,0	0,29	0,0
30/11 - 07/12	158,583	0,16	0,0	0,0	0,18	0,0
07/12 - 28/12	93,274	0,17	+	0,0	0,15	0,0

04/01/93 - 11/01	16,103	0,20	0,11	0,0	0,16	0,0
11/01 - 18/01	210,615	0,14	0,11	0,0	0,09	0,0
18/01 - 1/02	55,040	0,18	+	0,0	0,0	0,0

DEA : dé-éthylatrazine ; DIA : dé-isopropylatrazine

(*) échantillonnage au goutte à goutte ; (°) arrêt du **préleveur** avant la fin de la phase de drainage ; (≠) résidus non **dosables** en raison d'une co-élution de substances organiques ; (+) traces de résidus

Tableau X : **Précipitations** et concentrations en **résidus** des eaux de drainage du Sol Brun Intermédiaire

Phases de drainage	Prkipitations mm	Concentration en pesticides ($\mu\text{g l}^{-1}$)				
		Atrazine	DEA	DIA	Bentazone	Alachlore
Traitement à l' atrazine : mai 1991						
Traitement à l'alachlore et à la bentazone le 14/05/1992						
01/06/92 - 08/06	39,6	0,80*	2,39	0,33	1,76	1,67
06/07 - 13/07	45,2	1,31	4,46	0,29	13,22	3,79
20/07 - 17/08	36,2	4,32*	10,08	4,44	27,00	0,0
07/09 - 02/11	94,0	0,49*	0,0	0,0	0,24	0,0
02/11 - 09/11	8,8	0,12*	0,27	0,0	0,59	0,0
09/11 - 16/11	46,8	1,34	3,02	0,0	0,81	0,0
16//11 - 23/11	40,0	1,77°	2,99	0,0	20,15	0,0
23/11 - 30/11	33,2	0,0	2,05	0,0	1,11	0,0
30/11 - 07/12	21,4	0,78	1,46	0,0	0,85	0,0
07/12 - 28/12	19,9	0,65	1,24	0,0	0,67	0,0

04/01 - 11/01	8,4	0,32	0,97	0,0	0,27	0,0
11/01 - 18/01	41,4	0,41	0,83	0,0	0,19	0,0
18/01 - 1/02	16,2	0,15	0,29	0,0	0,0	0,0

DEA : dé-éthylatrazine ; DIA : dé-isopropylatrazine

(*) échantillonnage au goutte à goutte; (°) arrêt du préleveur avant la **fin** de la phase de drainage

a - L'alachlore et la bentazone

Les concentrations en résidus des eaux de drainage enregistrées pour ces 2 produits sont extrêmement élevées; en particulier lors des phases de drainage qui suivent le traitement. Elles atteignent dans le pélosol près de 100 fois la norme pour l'alachlore et 800 fois pour la bentazone. Ces concentrations chutent **considérablement** après une période de 5 mois, mais la bentazone est retrouvée dans les eaux à des doses 2 à 3 fois supérieure à la norme, jusqu'au mois de janvier 1993, tandis que l'alachlore présente un comportement particulier. En effet, il est dosé pour la dernière fois au mois de juillet dans les eaux du sol brun **intermédiaire** et au mois de novembre dans celles du sol brun lessivé. Pour le pélosol, il apparaît en 2 phases successives séparées par un intervalle de temps de plus de 3 mois. Il semblerait que ce sol ait été ré-alimenté en alachlore, peut-être par les eaux de ruissellement provenant du sol brun lessivé. Ce point devra **être** vérifié lors de nouvelles **expérimentations**.

Comme pour l'atrazine, il est possible de noter un effet sol : les eaux du pélosol sont, d'une manière générale, plus riches en résidus que celles du sol brun intermédiaire ou du sol brun lessivé.

2 - 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.**

L'examen de ces figures, et quel que soit le sol, montre un transfert sensiblement continu de l'atrazine et de la dé-éthylatrazine, tandis que pour l'alachlore et la bentazone l'essentiel du transfert est assuré par les premières phases de drainage qui suivent le traitement. Comme le montre le tableau ci-dessous, les quantités totales transférées sont considérables, en particulier par les eaux du pélosol.

La bentazone, produit à application foliaire, s'avère l'herbicide le plus polluant avec une exportation qui représente **1,58 %** de la dose appliquée pour le pélosol et **0,08 %** pour le sol brun lessivé. Ces pourcentage sont respectivement de **0,08 %** et 0,006 % pour l'alachlore.

Il est à souligner que les antécédents atrazine donnent, tant en matière active qu'en dé-éthylatrazine, des résultats qui sont à rapprocher de ceux de la bentazone, en particulier pour le sol brun lessivé

Sols	Total des produits transportés (mg.ha ⁻¹)			
	Atrazine	DEA	Alachlore	Bentazone
Pélosol	1014	1934	1611	12683
Sol brun lessivé	285	648	120	626

3 - 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. De ce fait, l'eau circule pour l'essentiel latéralement suivant le sens de la pente.

La prise en compte de la pluviométrie et de l'ETP (tableau XI et XII) nous montre que les volumes concernés dans l'alimentation de la nappe sont faibles: 333 m³ pour le Pélosol et 880 m³ pour le sol brun lessivé. Cette alimentation n'est vraiment importante qu'en période hivernale (octobre à janvier). On notera, à certaines périodes, un fonctionnement du drainage

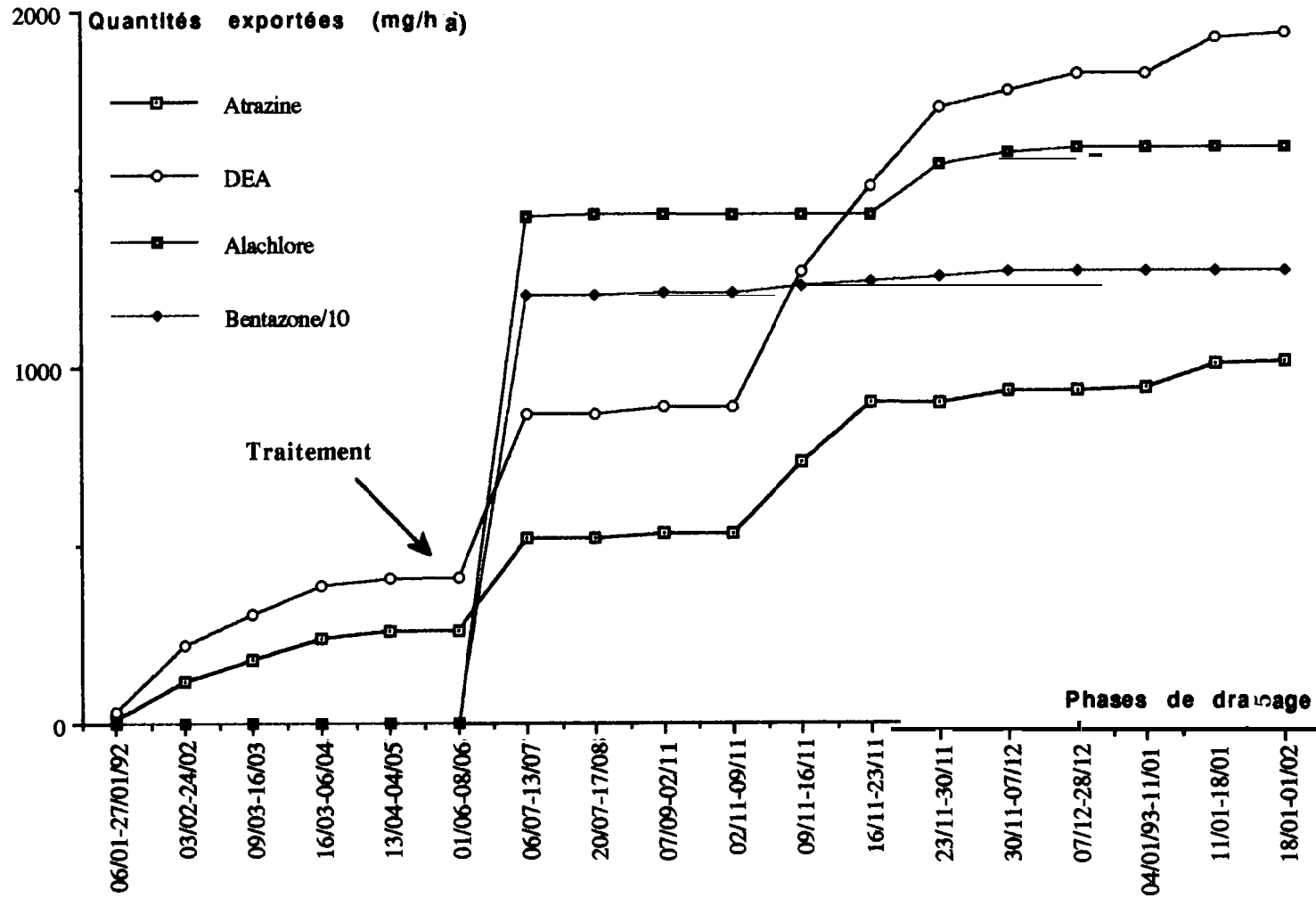


Figure 2 : Courbes représentant les valeurs cumulées des pesticides exportés par les eaux de drainage du pélosol du 06/01/92 au 01/02/93

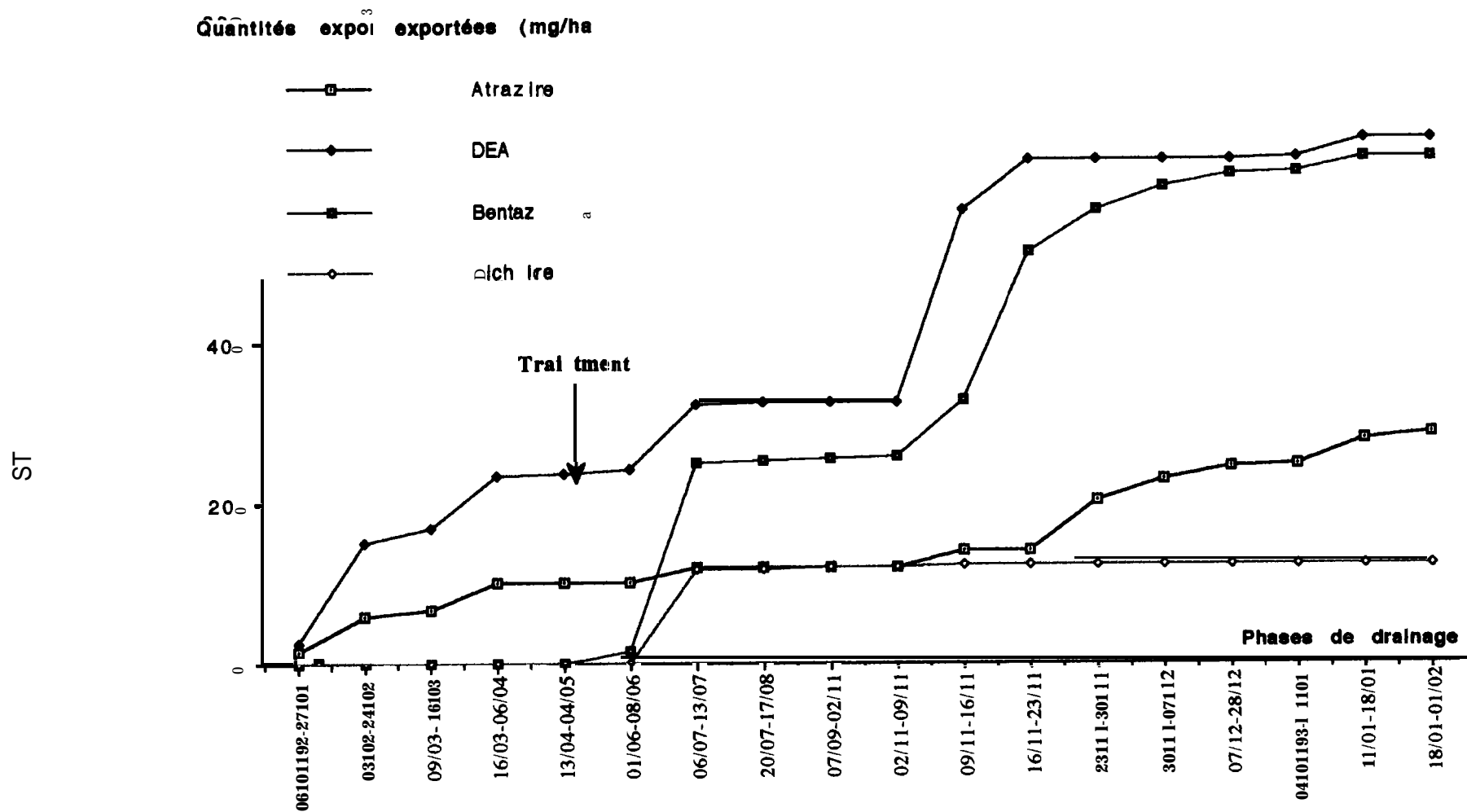


Figure 3 : Courbes représentant les valeurs cumulées des pesticides exportés par les eaux de drainage du sol brun lessivé du 06/01/92 au 01/02/93

Tableau XI : Evaluation, pour le **Pélosol**, des quantités de **résidus** éventuellement **exportés** vers la nappe

Phases de drainage	Précipitations mm	drainage mm	ETP mm	A* mm	Quantités éventuellement entraînées vers la nappe (mg)				
					Atrazine	DEA	DEIA	Bentazone	Alachlore
06/01 - 27/01/92	18.4	6,21	7,92	4.27	8,97	24,34	0,0		
03/02 - 24/02	40.4	25,35	15.33	-0.28	0,0	0,0	0,0		
09/03- 16/03	33.0	13.82	7,58	11,60)	0,0	0.0	0,0		
16/03 - 30/03	27.2	18.20	23.90	- 14,9)					
13/04 -04/05	45.0	4,44°	69,28	- 28.72	?	?	?		
Traitement à l'alachlore et à la bentazone le 14/05/1992									
01/06 - 08/06	11.8	0,15°	29,62	- 17.97	?	?	0,0	?	?
06/07 - 13/07	43.2	15.32	23.51	4,37	74,29	129,79	24,91	3428,27	404,66
20/07 - 17/08	23,8	0,14°	23,7	- 0,04	?	?	0.0	?	?
19/11 - 02/11	54,6	5,20	13.11	36,29	87.10	156,05	0,0	101.60	0,0
02/11 - 09/11	8,8	0,35	5,87	2,58	2,32	7,22	0,0	109.39	0,0
09/11 - 16/11	46.8	28,45	5.31	13,04	91,28	173,43	+	95,19	0,0
16/11 - 23/11	40,0	27,90	5,19	6,91	42,15	59,43	+	36.62	0,0
23/11 - 30/11	33,2	17,26	5,71	10,23	≠	128,90	+	81,84	79,79
30/11 - 07/12	21,4	13,14	6,49	1.77	4,25	6,55	0,0	12,92	4,78
07/12 - 28/12	19,9	6.10	8,25	5.55	≠	40,52	0,0	29,97	11,66
04/01/93 - 11/01	8.4	1.77	3,55	3,08)					
11/01 - 18/01	41,4	47,03	4.53	- 10,16)	0,0	0,0	0,0	0,0	0.0
18/01 - 1/02	16.2	5,38	5.11	5.70)					
Total pour l'année					310,36	726,23	24,91	3895,80	500,89

(*) A = Précipitations - [drainage + ETP]; (°) Sol fissuré ; (≠) résidus non dosables en raison d'une co-Clution de substances organiques ; (?) drainage malgré un déficit hydrique, dû à la fissuration ; (+) traces de résidus dans l'eau

Tableau **XII** : Evaluation, pour le Sol Brun Lessivé, des **quantités** de résidus éventuellement exportées vers la nappe

Phases de drainage	Précipitations mm	drainage mm	ETP mm	A* mm	Quantités éventuellement entraînées vers la nappe (mg)				
					Atrazine	DEA	DEIA	Bentazone	Alachlore
06/01 - 27/01/92	18.4	7,0	7,92	3.48	7.31	12,88	0,0		
03/02 - 24/02	40.4	24,03	15,33	1,04	1.98	5,41	3,74		
09/03 - 16/03	33,0	5,32	7,58	20.10)	0,0	0,0	0,0		
16/03 - 06/04	31.0	15,09	40.32	- 24,41)					
13/04 - 04/05	45,0	0,91°	69,28	- 25,19	?	?	0,0		
Traitement à l'alachlore et à la bentazone le 14/05/1992									
4 01/06 - 08/06	11,8	1,18°	29.62	- 19,00	?	?	0,0	?	?
06/07 - 13/07	43,2	6.76	23,51	12,93	31.04	157.75	25.86	444.79	221.10
20/07 - 17/08	23,8	0,06°	23,7	0,04	0,16	0,61	0,0	1,23	0,0
19/10 - 02/11	54.6	0.63	13.11	40,86	57,20	0,0	0,0	249,25	155,27
02/11 - 09/11	8,8	0,29	5,87	2,64	0,0	0,0	0,0	13,20	20,86
09/11 - 16/11	46,8	13,06	5.31	28,43	45,49	520,27	0,0	150,68	0,0
16/11 - 23/11	40,0	23,50	5,19	11.31	0,0	29.41	0,0	88.22	0,0
23/11 - 30/11	33,2	17,70	5.71	9,79	3427	0,0	0,0	28,39	0,0
30/11 - 07/12	21,4	15,86	6,49	- 0,95)					
07/12 - 28/12	19,9	9,33	8,25	2,32)	2.26	+	0,0	2.26	0,0
04/01/93 - 11/01	8,4	1.61	3.55	3,24	6,48	3,56	0,0	5,18	0,0
11/01 - 18pl	41,4	21,06	4.53	15,81	22,13	17,39	0,0	14,23	0,0
18/01 - 1/02	16,2	5,50	5,11	5,59	10,06	+	0,0	0,0	0,0
Total pour l'année					218,38	747,28	29,60	997,43	397,23

(*) A = Précipitations - [drainage + ETP].; (°) Sol fissuré ; (≠) résidus non dosables en raison d'une co-élution de substances organiques; (?) drainage malgré un déficit hydrique, dû à la fissuration ; (+) traces de résidus dans l'eau

alors que le bilan hydrique est déficitaire. L'eau des précipitations circule alors par les fissures du sol directement vers les drains. Dans ce cas, on peut penser que la nappe n'est pas alimentée. On peut également observer au cours d'une phase de drainage une première partie 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 XI et XII) sauf pour la bentazone qui atteint près d'un gramme pour le sol brun et 4 g pour le pélosol.

CONCLUSION

Les conditions climatiques rencontrées entre le 6 janvier 1992 et le 3 mai 1993, ont été peu propices au drainage et les volumes obtenus pour chacun des sols sont nettement **inférieurs à la moyenne**.

L'absence de mesure du phénomène de ruissellement rend critiquable les interprétations concernant "l'effet sol" dans le transport des pesticides. Si le pélosol est globalement plus polluant que le sol brun lessivé, cela pourrait être dû à une alimentation en résidus par les eaux de ruissellement provenant du Sol Brun Lessivé.

La comparaison des **résultats** obtenus pour l'atrazine lors d'un traitement récent et l'alachlore (Schiavon, 1974) permettent de penser que l'emploi de ce dernier serait plus satisfaisant que l'atrazine. Toutefois, le comportement de la bentazone, qui lui est obligatoirement associée pour compléter le contrôle des adventices, s'avère apparemment **particulièrement** néfaste pour la qualité de l'eau. Sous réserve de vérification des **résultats** obtenus, cet itinéraire de désherbage du maïs semble devoir être déconseillé, ou bien une solution de remplacement doit être trouvée pour la bentazone.

ANNEXES

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

Phases de drainage	Volume drainé m ³	Quantité cumulées de pesticides exportes (mg.ha ⁻¹)			
		Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore
06/01 - 27/01/92	69,974	14,694	25,890		
03/02 - 24/02	240,265	60,344	150,828		
09/03 - 16/03	53,231	68,329	167,330		
16/03 - 06/04	150,909	100,020	232,221		
13/04 - 04/05	9,069	101,652	234,488		
Traitement à l'alachlore et à la bentazone le 14/05/1992					
01/06 - 08/06	11,802	101,652	239,681	16,287	0,0
06/07 - 13/07	67,565	117,868	322,110	248,711	115,536
20/07 - 17/08	0,607	118,111	323,033	250,574	115,536
07/09 - 02/11	6,266	118,988	323,033	254,396	117,917
02/11 - 09/11	2,879	118,988	323,033	255,836	120,191
09/11 - 16/11	130,636	139,890	562,097	325,073	
16/11 - 23/11	238,006	139,890	623,979	510,718	
23/11 - 30/11	176,962	201,827	623,979	562,037	
30/11 - 07/12	158,583	227,200	623,979	590,582	
07/12 - 28/12	93,274	243,057	623,979	604,573	

04/01/93 - 11/01	16,103	246,278	625,750	607,149	
11/01 - 18/01	210,615	275,764	648,918	626,104	
18/01 - 1/02	55,040	285,671	648,918	626,104	120,191

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

Phases de drainage	Volume draine m ³	Quantité cumulées de pesticides exportés (mg.ha ⁻¹)			
		Atrazine	DEA	Bentazone	Alachlore
06/01 - 27/01/92	62,068	13,034	35,379		
03/02 - 24/02	253,520	116,977	222,984		
09/03 - 16/03	138,145	177,761	307,252		
16/03 - 06/04	181,989	237,817	383,687		
13/04 - 04/05	44,388	258,679	408,544		
Traitement à l'alachlore et à la bentazone le 14/05/1992					
01/06 - 08/06	1,517	259,604	409,090	3,762	2,336
06/07 - 13/07	153,201	520,046	864,097	12022,380	1420,977
20/07 - 17/08	1,440	521,097	864,687	12024,986	1428,767
07/09 - 02/11	52,179	533,620	887,124	12039,596	1428,767
02/11 - 09/11	3,529	533,938	888,112	12054,559	1428,767
09/11 - 16/11	284,469	733,066	1266,456	12262,221	1428,767
16/11 - 23/11	278,961	903,232	1506,362	12410,070	1428,767
23/11 - 30/11	172,637	903,232	1723,885	12548,180	1563,424
30/11 - 07/12	131,346	934,755	1772,483	12644,063	1598,887
07/12 - 28/12	61,003	934,755	1817,015	12677,005	1611,697
-----mm-----					
04/01/93 - 11/01	17,715	939,103	1821,685	12683,285	
11/01 - 18/01	470,306	1004,946	1920,449		
18/01 - 01/02	53,746	1014,083	1934,960	12683,285	1611,697