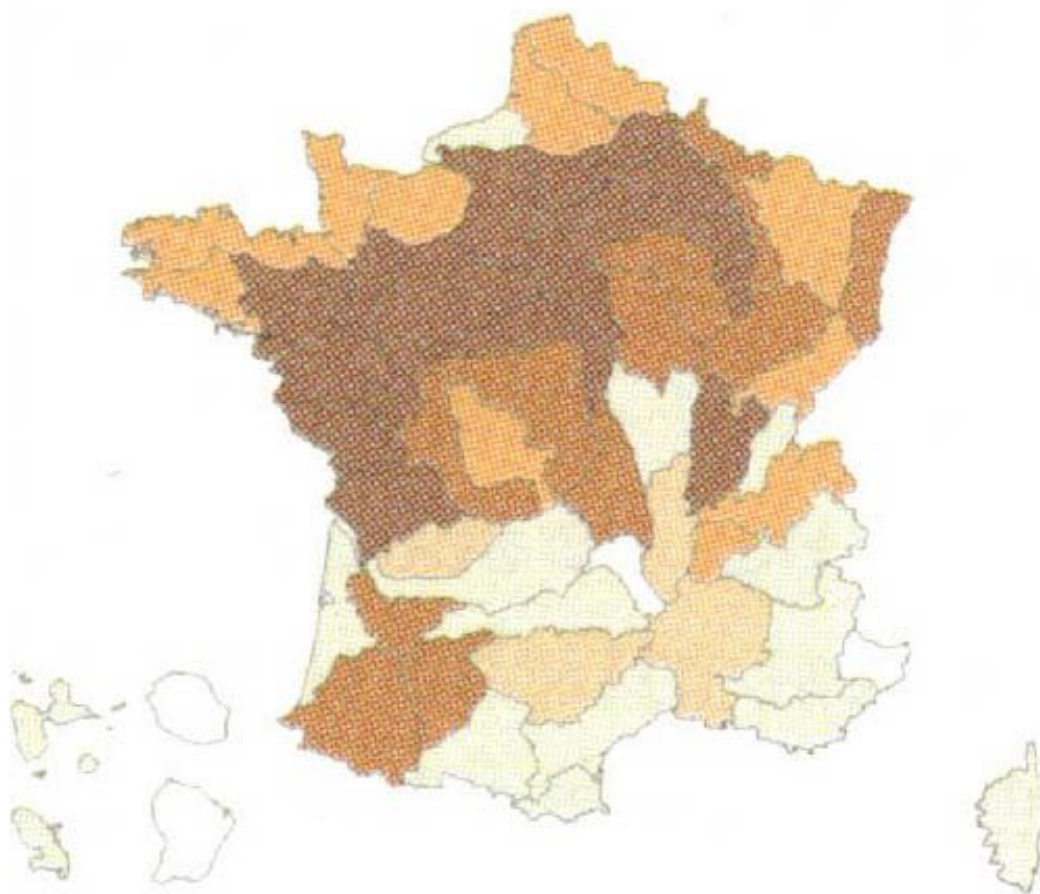


Rapport bibliographique :
L'atrazine ;
le plus célèbre et le premier des
pesticides interdit en France.



Mes remerciements à Mme NARBONNE, Mme MOATAR, Mr GRIMAUD et toutes les autres personnes et organismes qui m'ont aidé pour la réalisation de cette étude.

Sommaire

Résumé – Summary	p.2
Liste des figures	p.3
Liste des tableaux	p.4
Introduction	p.5
I / Généralités sur l’atrazine	p.6
I-1) Les pesticides	p.6
I-2) Les herbicides	p.7
I-3) Nomenclature de l’atrazine	p.7
I-4) Caractéristiques et propriétés chimiques	p.8
I-5) Origine et utilisation	p.9
I-6) Législation	p.9
I-7) Méthodes de détection et traitements des eaux	p.12
II / Comportements dans les milieux	p.14
II-1) Origine des pollutions et transferts	p.14
II-2) Devenir dans les milieux	p.18
II-3) Bilan	p.19
III / Effets biologiques et état des lieux en France	p.21
III-1) Incidence sur les organismes vivants	p.21
III-2) Etats des lieux	p.23
III-3) Relation avec l’occupation du sol et bilan	p.34
IV / Réflexions sur son interdiction et ses produits de substitution	p.36
IV-1) Le contexte avant l’interdiction	p.36
IV-2) La procédure de retrait	p.36
IV-3) Les solutions de remplacement	p.38
Conclusion	p.44
Glossaire	p.45
Bibliographie	p.47
Table des matières	p.50
Annexes	

Résumé - Summary

L'**atrazine** est un herbicide systémique sélectif de la famille des triazines de formule $C_8H_{14}Cl N_5$. Elle est utilisée en agriculture, en particulier pour la culture du **maïs** (71 % des quantités utilisées), et en usage non agricole comme désherbant des parcs, des jardins et de la voirie (avant 1997).

La dose d'emploi était à son homologation, en 1959, limitée à 2500 g/ha.an. En 2000, ce taux d'utilisation est passé à **1000 g/ha.an**. La concentration maximale admissible pour l'eau potable est de **0,1 µg/l** pour la Communauté Européenne (décret français n°89-3 du 3 janvier 1989 et modifications), et une valeur guide de 2 µg/l est donnée par l'OMS.

Les **transferts** des zones de culture aux eaux se font par **ruissellement** et par **infiltration**. Dans l'environnement, la molécule est dégradée physico-chimiquement et biologiquement en **métabolites** (déséthylatrazine (DEA), déisopropylatrazine (DIA)). Malgré une stabilité importante et une solubilité dans l'eau faible, la **pollution** des nappes, rivières et eaux de consommation par **l'atrazine et ses métabolites** est généralisée. En 1998 et 1999, la contamination atteint 4 fois la valeur seuil dans les nappes, 10 fois cette valeur dans les eaux de surface. En 2000, les produits de dégradation sont retrouvés dans 50 % des prélèvements dans les eaux de surface et 52 % dans les nappes (données IFEN). Sa **toxicité** pour les milieux aquatiques devient forte à partir de 20 µg/l.

Face à ce constat, le gouvernement a engagée la procédure de **retrait des triazines** le 28 décembre 2001 avec une limite de commercialisation fixée au 30 septembre 2002 et une fin d'utilisation au **30 juin 2003**. Cependant, des problèmes se posent au niveau des **produits de substitution** peu étudiés du désherbant. Des **techniques alternatives** plus écologiques existent (désherbage mécanique) mais le surcoût demeure important. Aujourd'hui, certains estiment que les **O.G.M.** peuvent trouver une place dans cette agriculture en difficulté, entraînant de nouvelles inquiétudes.

Mots clé : Produits phytosanitaires, atrazine, maïs, transferts, environnement, pollution des eaux, interdiction (30 juin 2003), produits de substitutions.

Atrazine is a systemic and selective herbicide of the triazine family. Used on agriculture, especially on **maize** farming (71 % of used quantities), and for nonagricultural uses like parks, gardens, and roadway weedkiller (before 1997).

The use quantity was at his recognition in 1959, limited on 2500 g/ha.an. In 2000, this amount passed into **1000 g/ha.an**. The maximal allowable concentration for drinking water is **0,1 µg/l** for the European Community (French decree n°89-3 of the January 3, 1989 and modifications), and a value of 2 µg/l is given by OMS.

Transfers from growing to waters are made by **runoff** and **infiltration**. In the environment, atrazine is **metabolized** to two mains compounds ; desthylated atrazine (DEA) and desisopropyl atrazine (DIA). In spite of an important stability and a weak solubility in water, the pollution of ground waters, river waters and drinking waters by atrazine is generalised. In 1998 and 1999, the contamination reaches 4 times the norm in the ground waters and 10 times in the rivers. In 2000, metabolites are found in 50 % of the rivers and ground waters samples.

The atrazine's **toxic effects** on aquatic ecosystems become important at 20 µg/l.

On December 28, 2001, the Government starts the prohibition procedure of **triazines** with a commercial limit fixed at September 30, 2002 and a complete ban at **June 30, 2003**.

However, problems appear with **substitute products**. **Alternative ecological techniques** exist (mechanic weedkiller) but they are still expensive. Today, some people think that O.G.M. could find a place in this agriculture in difficulty, involving new worries.

Keys words : Pesticides, atrazine, maize, transfer, environment, water pollution, used prohibition (June 30, 2003), substitute products.

Liste des figures

Figure 1 : La molécule d'atrazine	p. 7
Figure 2 : Répartition des types de pollutions ponctuelles en 1990	p.14
Figure 3 : Importance relative des transferts de l'atrazine, ordre de grandeur	p.15
Figure 4 : Ruissellement hypodermique rapide	p.16
Figure 5 : Modes de circulation de l'eau en milieu karstique	p.17
Figure 6 : Phénomènes déterminant le devenir des produits phytosanitaires	p.20
Figure 7 : Concentrations en atrazine et déséthylatrazine dans la rivière Adour en corrélation avec les fortes pluies et la période d'épandage en 1999	p.24
Figure 8 : Répartition des concentrations en atrazine mesurées dans 42 captages du bassin Loire Bretagne en 1996	p.25
Figure 9 : Qualité des eaux souterraines utilisées pour la production d'eau potable en 1998	p.26
Figure 10 : Répartition spatiale des taux de quantification des dix substances les plus rencontrées dans les eaux souterraines de 1998 à 1999	p.27
Figure 11 : Répartition des concentrations en atrazine mesurées dans 233 stations en France de 1993 à 1995	p.28
Figure 12 : Contamination des eaux de surface par l'atrazine de 1993 à 1995	p.29
Figure 13 : Qualité des eaux superficielles utilisées pour la production d'eau potable en 1998	p.30
Figure 14 : Répartition spatiale des taux de quantification des dix substances les plus rencontrées dans les eaux superficielles de 1998 à 1999	p.31
Figure 15 : Répartition hydrodynamique de la propagation d'un pesticide dans le Golfe de Gascogne en août 1998 et février 1999	p.33
Figure 16 : Carte du pourcentage de SAU par régions	p.34

Liste des tableaux

Tableau 1 : Quelques caractéristiques de l'atrazine	p.8
Tableau 2 : Normes de qualité des eaux pour l'atrazine	p.11
Tableau 3 : Classes d'aptitude SEQ-Eau	p.12
Tableau 4 : Comportement physico-chimique dans l'environnement	p.18
Tableau 5 : Biodégradation et bioaccumulation	p.19
Tableau 6 : Variation de la dissipation et du transfert de l'atrazine au cours d'une année	p.20
Tableau 7 : Toxicité pour différents organismes	p.21
Tableau 8 : Seuils déterminés par les Agences de l'eau pour la protection des écosystèmes aquatiques	p.23
Tableau 9 : Etat et évolution des substances actives en tonnes par an de 1996 à 1999	p.23
Tableau 10 : Flux nets en kg/an de triazines apportés en zones côtières par les principaux fleuves français de 1991 à 1996	p.32
Tableau 11 : Flux nets en kg/an de triazines apportés en zones côtières par la Seine et la Loire en 1998	p.32
Tableau 12 : Décisions portant sur les triazines concernées par la procédure du 28 septembre 2000	p.37
Tableau 13 : Tableau comparatif des principales techniques alternatives à l'atrazine	p.41

Introduction

L'atrazine est un herbicide de la famille des triazines, fréquemment rencontré dans les eaux superficielles, les eaux souterraines et les eaux de consommation.

Homologuée en 1959, cette molécule est très utilisée par l'agriculture comme désherbant du maïs et d'autres cultures, mais aussi jusqu'en 1997 par les communes, la SNCF, les particuliers sur les fossés, voies ferrées, bords de route, allées de jardin.

Le ministère français de l'Agriculture et de la Pêche a engagé la procédure de retrait de l'homologation de l'atrazine dont l'usage sera interdit à compter du 30 juin 2003. Cependant, des problématiques importantes se posent en rapport avec la nécessité pour les agriculteurs d'utiliser de nouvelles techniques de désherbage.

L'objectif de cette étude bibliographique est d'essayer de comprendre les raisons de cette interdiction au vu des caractéristiques de la substance, des mécanismes de transfert et de son devenir dans l'environnement, des dangers qu'elle représente pour les milieux aquatiques et la santé humaine et enfin de dresser un état des lieux concernant la pollution des eaux.

Les problématiques liées au contexte au moment de l'interdiction de l'atrazine, les produits de substitution et les techniques alternatives de désherbage pourront alors être discutées.

I - Généralités

I-1) Les pesticides

Les pesticides sont des substances chimiques xénobiotiques*(glossaire) qui sont apparus sur le marché dans les années 40, pour protéger les cultures des ravageurs, des maladies et des mauvaises herbes. Ils ont très vite été utilisés de façon abondante et ont permis aux agriculteurs d'augmenter sensiblement les rendements de leur production agricole.

Il existe actuellement environ 8000 produits commerciaux composés à partir de 850 substances actives. On estime aujourd'hui que **2,5 millions de tonnes** de pesticides sont appliqués chaque année sur les cultures de la planète. En Europe, les quantités moyennes de produits actifs sont inégalement répandus d'un pays à l'autre ; ces quantités varient de 0,1 Kg/ha pour la Suède à 10 Kg/ha pour les Pays-Bas (NADEAU, 1996).

Le pourcentage d'efficacité des pesticides reste cependant extrêmement faible ; la quantité des produits phytosanitaires appliquée sur les cultures reste nettement supérieure à la quantité assimilée par les plantes et les organismes cibles. On estime que **99,7 %** des substances déversées ne vont pas vers la cible visée et peuvent ainsi induire des pollutions importantes (PIMENTEL, 1995). De tels constats ont très rapidement amené les pouvoirs publics à se poser des questions sur ces effets environnementaux. Historiquement, dès 1962 les premières accusations d'atteinte à la santé humaine et à l'environnement apparurent dans la presse scientifique (CARSON, 1962). En France, la présence des produits phytosanitaires dans les eaux de surface est jugée préoccupante : les pesticides sont présents dans **47 %** des points d'eau, dans **50 %** des eaux côtières et dans environ **20 %** des eaux souterraines. Ils sont par ailleurs, la cause d'un quart des eaux impropres à la consommation humaine (NADEAU, 1996).

Les différentes organisations mondiales ont, depuis quelques années, pris conscience du problème de la pénurie de l'eau pour les années futures. Aussi sont-elles actuellement en train de mettre progressivement en place de vastes programmes de gestion durable et intégrée des ressources en eau. La réglementation concernant la qualité de l'eau devient de plus en plus draconienne, et le contrôle régulier de la qualité des eaux est aujourd'hui indispensable tout comme la maîtrise des intrants susceptibles de la polluer.

I-2) Les herbicides (ANNEXE 1 : Familles chimiques des herbicides)

Les pesticides font partie des molécules chimiques à **fort potentiel polluant des eaux**. Différentes études ont démontré que l'on retrouvait ces éléments aussi bien dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines ou parfois dans les eaux de distribution. Parmi les pesticides, les composés chimiques les plus fréquemment rencontrés dans les analyses d'eau sont des herbicides comme les triazines (atrazine) (Anonyme, 1999).

Les herbicides sont classés suivant cinq catégories chimiques :

- Désherbants sélectifs et non sélectifs (exemples : atrazine, isoproturon, diuron) ;
- Défanants ;
- Débroussaillants ;
- Désherbants des zones non cultivées (diuron) ;
- Destruction des mauvaises herbes aquatiques et semi-aquatiques.

Les herbicides sont très largement et majoritairement utilisés par les agriculteurs, les professionnels non agricoles (services techniques des villes, SNCF...) et dans une moindre mesure, par les particuliers. Le choix d'application de l'un ou de l'autre des composés dépend principalement de la nature du sol à traiter, des cultures traitées et des saisons.

I-3) Nomenclature de l'atrazine

L'**atrazine** ou chloro-2 éthylamino-4 isopropylamino-6 triazine-1,3,5 est **un désherbant systémique* sélectif*** de la famille des **S-triazines** (simazine...). Sa formule chimique brute est $C_8H_{14}Cl N_5$ (figure 1).

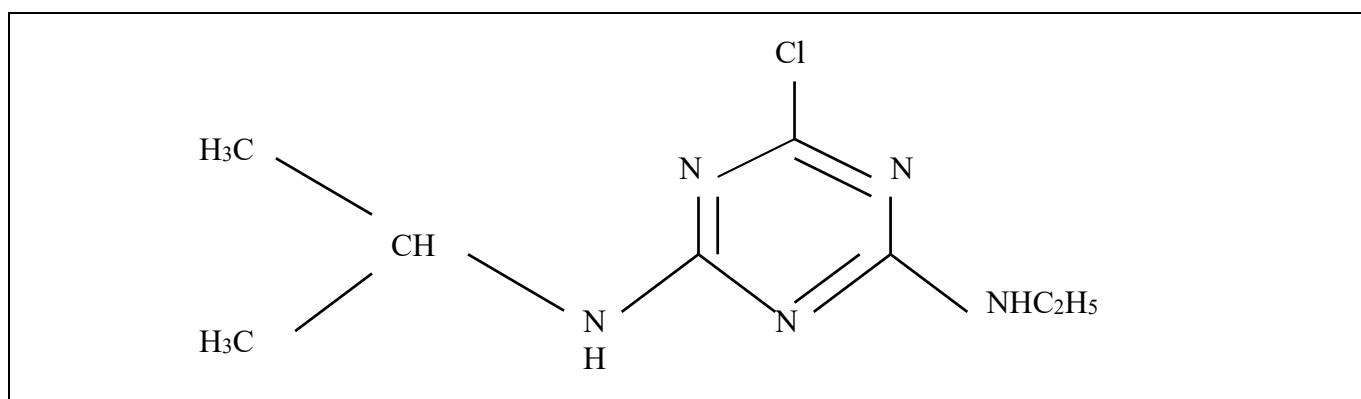


Figure 1 : La molécule d'atrazine (CLUZEAU, 1999).

On la retrouve dans une liste importante de spécialités commerciales : Atratlone LA50, Callitraz, Gésaprim, Atraphyt EL, Cat L Siapa, Atralon LP, Atracure, Techn'atral 50, Atra-Step, Adiatra, Atratex EL, Diorane L 500 (CLUZEAU, 1999).

Dans les pays anglo-saxons, elle est commercialisée dans des produits tels que l'Aatrex, le Bicep, le Griffex, la Mebazine, le Vectal... (TOMLIN, 1997).

L'atrazine est également souvent associée avec d'autres pesticides :

- avec bromoxynil (Kaléis, Karal, Clark, Sabrine),
- avec alachlore,
- avec bentazone, Cyanazine, Amitrole, Imazapyr, Pyridate, Diuron, Metolachlor,
- avec pendiméthaline,
- avec dicamba (Marksman), metolachlor + benoxacor,
- avec diméfurone, pyridate, simazine ...

Pour désigner ces molécules, on parle de **substances actives*** .

I-4) Caractéristiques et propriétés chimiques (tableau 1)

Tableau 1 : Quelques caractéristiques de l'atrazine (CLUZEAU, 1999) (TOMLIN, 1997) (DABENE, MARIE, SMITH, 1995).

Etat physique :	Solide cristallin
Couleur :	Incolore
Poids moléculaire :	215,69
Densité :	1,23 (22°C)
Solubilité :	- eau : 33 mg/l (20°C) soluble dans la plupart des solvants organiques : - octanol : 10 mg/l (20°C)
Coefficient de partage octanol/eau :	$K_{ow} = 219$ ($\log K_{ow} = 2,34$)
Stabilité :	- stable en milieu neutre et faiblement acide ou basique - stable pour des pH 5 à 9 - rapidement hydrolysée en dérivés hydroxylés en milieu acide ou alcalin concentré et à 70°C en milieu neutre.
Tension de vapeur :	0,040 m Pa (20°C) 0,039 m Pa (25°C)
Constante de Henry :	$2,6 \times 10^{-4} \text{ Pa.m}^3.\text{mol}^{-1}$

I-5) Origine et utilisation

La molécule a été commercialisée en 1959 par les industries suisses Ciba-Geigy. Il n'existe pas de source naturelle d'atrazine. Elle est produite à partir de la réaction de chlorures de cyanuryle avec de l'éthylamine et de l'isopropylamine. La réaction s'opère successivement et produit du tétrachlorométhane.

L'atrazine est un herbicide systémique sélectif utilisé principalement dans le traitement du maïs. En 1999, 80 % des cultures de maïs étaient désherbées avec 71 % des quantités totales utilisées en France (Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales). L'autre culture concernée en France est le sorgho à grains (100 % des surfaces). Le désherbage se fait en pré-levée* ou au stade plantule des adventices* , seul ou en association avec d'autres substances actives. Elle pénètre par les racines et plus faiblement par les feuilles (TISSUT, SEVERIN, 1984). Véhiculée par le xylème*, l'atrazine se concentre dans les feuilles où elle agit en perturbant la photosynthèse. Son action herbicide se traduit par un jaunissement et un dessèchement des feuilles.

Le pesticide est d'une grande efficacité à l'égard des graminées adventices et de nombreuses herbes dicotylédones. Sa durée d'action est d'au moins 2 à 6 mois (anonyme, 2000).

En plus de son fort pouvoir désherbant vis à vis des mauvaises herbes, l'atrazine présente deux intérêts majeurs :

- un faible coût (60 F/ha) ;
- une facilitée et une souplesse d'application.

Appliquée **d'avril à juin**, l'atrazine fait partie intégrante des habitudes de désherbage du maïs.

I-6) Législation

I-6-a) Procédure d'homologation

Les pesticides sont soumis à une autorisation de mise sur le marché. Les substances actives font ainsi l'objet de travaux d'expertise au sein de plusieurs commissions :

- la Commission d'étude de la toxicité est chargée d'évaluer les risques éventuels pour l'homme et l'environnement ;
- le Comité d'homologation est chargé d'apprécier l'efficacité de ces substances actives et de définir les conditions de leur utilisation ;
- la Commission des produits anti-parasitaires formule un avis qui prend en compte l'opinion des représentants de la société civile.

Sur la base de ces avis et recommandations, le ministre délivre ou non une autorisation de mise sur le marché.

Une homologation européenne existe au travers de la **directive CEE/91-414**. Elle établit une liste qui prend en compte toutes les substances actives utilisées et doit être terminée en septembre 2003. Des études écotoxicologiques sont en cours (dégradation, métabolites...) (Institut Céréaliier de France, 2001).

I-6-b) Dose d'emploi

La dose d'emploi était en 1959, limitée à 2500 g/ha.an et à 1500 g/ha.an quel que soit l'usage considéré en 1990 (journal officiel du 13/07/1990).

En 1997, ce taux d'utilisation est passé à **1000 g/ha.an** (journal officiel du 15/02/1997).

Pour ce qui concerne les usages non agricoles, elle était employée pour le désherbage des allées de parcs, jardins et trottoirs par les collectivités et la SNCF en particuliers. En 1997, cette utilisation dans les zones non cultivées a été interdite (journal officiel du 29/04/1997).

I-6-c) Normes de qualité des eaux

Au niveau de la qualité des eaux, la législation sur les pesticides résulte de deux types de réglementations :

- Réglementation générale

- Deux directives européennes et leurs textes de transposition en droit français : **n°75/440/CEE du 16 juin 1975** concernant la qualité requise des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire dans les Etats membres et **n°80/778/CEE du 15 juillet 1980** relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.
- La **loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau** modifiée par les **lois n° 92-1336 du 16 décembre 1992** et **n° 95-101 du 2 février 1995**.

Les produits phytosanitaires sont concernés par **l'article 8 de la loi sur l'eau** dans lequel les décrets en Conseil d'Etat doivent déterminer les règles générales de préservation de la qualité des eaux superficielles, souterraines et des eaux de mer qui fixent :

« - 1° les normes de qualité et les mesures nécessaires à la restauration et à la préservation de cette qualité, en fonction des différents usages de l'eau et de leur cumul ».

« - 4° les conditions dans lesquels peuvent être interdites ou réglementées la mise en vente et la diffusion de produits ou de dispositifs qui, dans les conditions d'utilisation normalement prévisibles sont susceptibles de nuire à la qualité du milieu aquatique ».

- Réglementation spécifique par usage ;

- Concernant les eaux brutes (eaux superficielles et souterraines utilisées pour produire des eaux d'alimentation), le **décret n° 89-3 du 3 janvier 1989** modifié distingue en application de la **directive 75/440/CEE**, trois niveaux de qualité (A1, A2 et A3) auxquels sont rattachés des traitements adaptés de plus en plus contraignants.
- Concernant les eaux distribuées (eaux destinées à la consommation humaine) ce même décret détermine en application de la **directive 80/778/CEE** les dispositions sanitaires applicables aux eaux distribuées en fixant les limites de qualité de ces eaux pour les « pesticides et produits apparentés ».
- La **directive européenne 98/83/CEE** rappelle les limites autorisées et prends en compte les métabolites issus de la dégradation des pesticides. Elle est l'adaptation scientifique de la directive 80/778/CEE . Enfin, le **décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001** relatif aux eaux destinées à la consommation humaine n'introduit pas de nouvelles valeurs concernant les pesticides (**ANNEXE 2 : Journal officiel du 22 décembre 2001**).

En application de ces directives, les valeurs des concentrations d'atrazine à ne pas dépasser dans les eaux continentales et de consommation sont les suivantes (tableau 2):

Tableau 2 : Normes de qualité des eaux pour l'atrazine (Source : IFEN, 2000).

Réglementations	Eaux brutes superficielles	Eaux brutes superficielles et souterraines	Eaux destinées à la consommation humaine
- Exigence de qualité par substance individualisée			0,1 µg/l
- Exigence de qualité pour le total pesticides			0,5 µg/l
- Exigence de qualité pour la production d'eau potable :			
A1 (traitement physique simple et désinfection)	< 0,1 µg/l (substance individualisée) < 0,5 µg/l (total)		
A2 (traitement normal physique, chimique et désinfection)	0,1 à 2 µg/l (substance individualisée) 0,5 à 5 µg/l (total)		
A3 (traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection)	> 2 µg/l (substance individualisée) > 5 µg/l (total)		
- Limites de qualité des eaux brutes pour la production d'eau potable		5 µg/l (total) 2 µg/l (substance individualisée)	

En 2000, la **Directive Cadre** définit des objectifs à atteindre en fonction des standards de qualité et une gestion durable des ressources en eau. Sa transposition en droit français doit se faire dans la nouvelle loi sur l'eau.

I-6-d) *Recommandations*

L'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) a fixée une valeur seuil de **2 µg/l** pour l'eau de consommation établie à partir de données toxicologiques expérimentales traduisant une toxicité à long terme auxquels sont appliqués des coefficients de sécurité importants.

Le **Système d'Evaluation de la Qualité des cours d'eau (SEQ-Eau)** crée par les Agences de l'Eau, reconnaît des seuils de changement de classes de qualité pour chaque paramètre concernant l'altération « pesticides sur eau brute ». Ces classes d'aptitude regroupent différents usages de l'eau comme la biologie, la production d'eau potable ou les loisirs aquatiques (tableau 3).

Tableau 3 : Classes d'aptitudes SEQ-Eau (Source : Agence de l'eau Adour Garonne, 1999).

Atrazine (µg/l)	0,1 Très bonne	0,3 Bonne	0,5 Passable	2 (orange) Mauvaise	Très mauvaise
------------------------	--------------------------	---------------------	------------------------	-------------------------------	----------------------

Le seuil de potentialités biologiques proposé par le **Système d'Evaluation de la Qualité Biologique des cours d'eau (SEQ-Bio)** pour l'atrazine est de 0,2 µg/l.

I-7) Méthodes de détection et de traitements des eaux

I-7-a) La détection (Norme analytique AFNOR T 90-121)

Les méthodes chimiques classiques utilisent des techniques d'extractions par dichlorométhane puis des chromatographies en phase gazeuse. Les seuils de détection dépendent des laboratoires et des demandes (exemples : Laboratoire du Mans : 0,01µg/l, Poitiers : 0,025µg/l...). La chromatographie liquide avec détecteur spécifique est également employée.

Dans le cadre d'études portant sur le devenir des pesticides dans l'environnement, les méthodes immuno-enzymatiques * peuvent être d'un grand intérêt. Les dosages s'effectuent directement sur des échantillons aqueux sans traitements préalables. La méthode est rapide, très sensible et moins onéreuse que les méthodes chimiques (LEAVITT, 1990). Les kits commerciaux, à base d'anticorps polyclonaux*, ne sont pas spécifiques de la molécule recherchée. Aussi, cette méthode et celle de l'analyse chimique restent-elles complémentaires.

Le test ELISA (Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) est basée sur la réaction anticorps/antigènes (**ANNEXE 3 : Principe du test ELISA et exemple de dosage immuno-enzymatique**). La lecture se fait par spectrophotométrie. La dégradation de la molécule pose cependant des problèmes quant à la précision des résultats (TASLI, RAVANEL, TISSUT, VACHAUD, 1992).

Des recherches concernant les systèmes de nanofiltration et leur efficacité sur les pesticides sont en cours (MONTIEL, 2001).

I-7-b) Les traitements de potabilisation

La méthode courante consiste à utiliser du charbon actif permettant l'adsorption des molécules polluantes à sa surface. Il existe du charbon actif en poudre (CAP) et du charbon actif en grain (CAG). Le premier écrête les pollutions importantes et localisées dans le temps. Son dosage est modulable et il est mélangé à l'eau. Le charbon en grain constitue un filtre et traite une eau de qualité constante. Sa mise en œuvre est figée et une régénération est nécessaire pour le bon fonctionnement du traitement. Un couplage des deux systèmes apporte une sécurité de traitement et un intérêt technique et économique (VIDARD, MAGNIN, 1992).

Pour mieux éliminer l'atrazine tout en limitant la formation de ses sous produits d'oxydation, un traitement à fort taux d'ozone (O_3), couplé au peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) est très efficace (LAHOUSSINE, 1997).

Le charbon actif ou l'ozonation réduisent les matières actives de 90 % mais seulement de 30% les métabolites (sous-produits de dégradation) (Institut Céréaliier de France, 2000).

II - Comportements dans les milieux

II-1) Origine des pollutions et transferts

La pollution des eaux peut être engendrée de deux manières ; ponctuelle ou diffuse.

II-1-a) Pollution ponctuelle

Ce type de pollution, accidentelle ou chronique, est liée aux mauvaises manipulations des produits et matériels avant, pendant ou après le traitement, ou encore à une maîtrise insuffisante de la gestion des emballages (Anonyme, 2000) (figure 2). Deux exemples de pollution ponctuelle chronique sont la vidange systématique de fonds de cuve dans la cours de la ferme ou dans un puisard, et l'incinération répétée des emballages sur un même lieu.

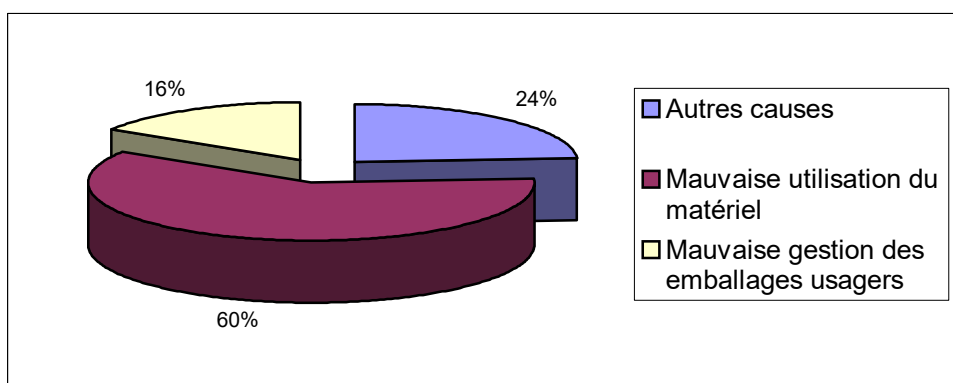


Figure 2 : Répartition des types de pollutions ponctuelles en 1990
(Source : Agence de l'eau Seine Normandie (1990) sur 331 accidents observés)

Une étude sur le bassin versant de la Hesse en Allemagne, a montré que sur la quantité totale d'atrazine mesurée à l'exutoire (3,4 Kg), environ 57 % de cette pollution était due aux pollutions ponctuelles (Anonyme, 1994).

Globalement, ces pollutions sont rares mais plus conséquentes quant aux effets sur l'environnement. La mortalité soudaine et importante des organismes aquatiques sera directement liée à une pollution ponctuelle (Anonyme, 2001).

Cependant, les causes sont bien connues et les remèdes sont possibles et dépendent des utilisateurs.

II-1-b) Pollution diffuse

Les pollutions diffuses résultent de l'entraînement des produits épandus sur les parcelles vers les eaux superficielles (par ruissellement) ou souterraines (par lixiviation). Elles sont fréquentes et peu visibles. Les causes sont complexes et les recherches toujours en cours.

Les mécanismes de transferts de l'atrazine se font à partir du champ d'application (figure 3).

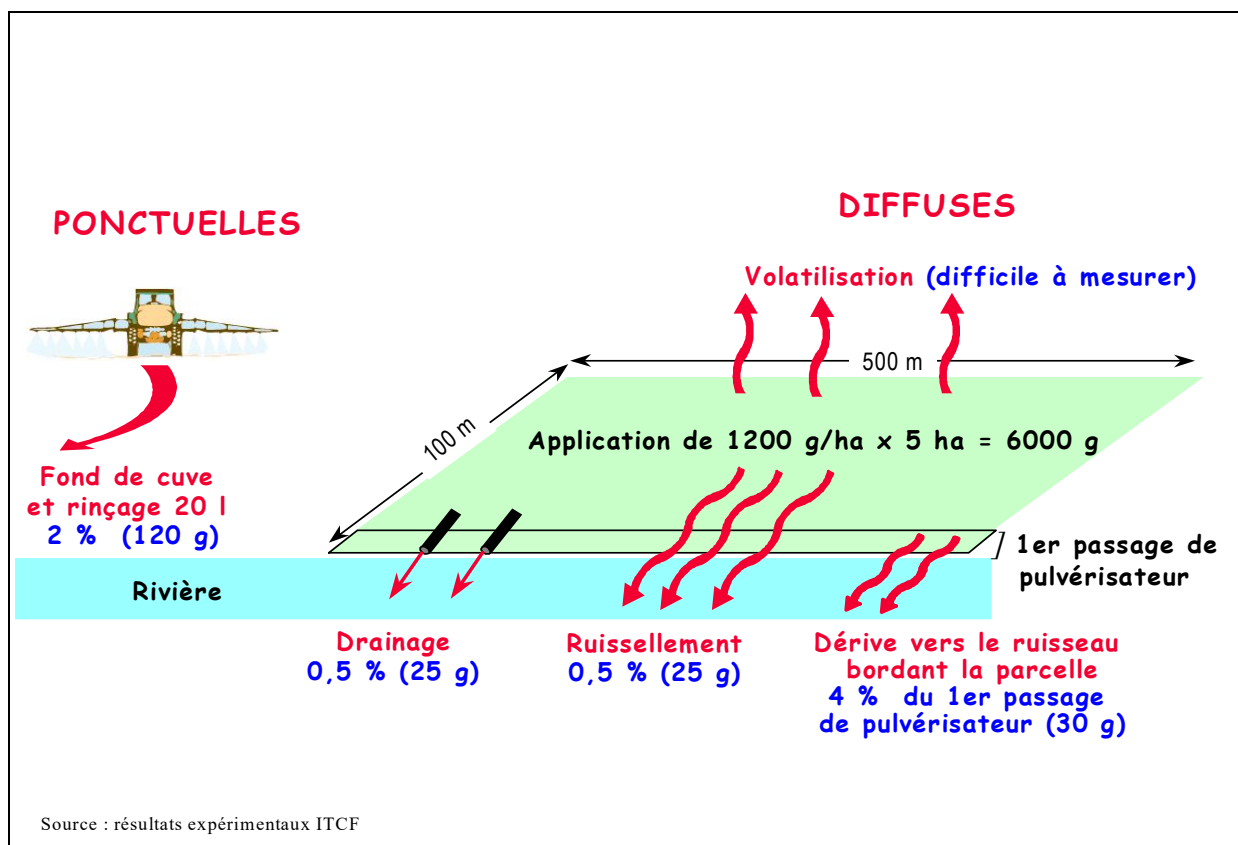


Figure 3 : Importance relative des transferts de l'atrazine, ordres de grandeur
(Source : diapositive ITCF, 2001).

Transfert par voie atmosphérique :

On parle de volatilisation. Elle est très difficile à mesurer mais en règle générale, le traitement étant réalisé en plein air, une fraction des quantité épandues peut être entraînée hors du champ par voie aérienne. Cette pollution touche en particuliers les eaux superficielles et les eaux souterraines en relations rapides avec elles (nappes alluviales, gravières...) (C.O.R.P.E.N., 1993).

Transfert par ruissellement :

D'après la figure 3, la quantité d'herbicide transportée par ruissellement correspond à environ 0,5 % de la quantité totale épandue. On peut parler de ruissellement proche pour qualifier la dérive vers le ruisseau bordant la parcelle à partir du premier passage du pulvérisateur (nécessité d'une zone minimale entre la parcelle et tout cours d'eau, intérêt des bandes enherbées).

Ces modes de transfert semblent fréquents dans de nombreuses situations pédo-climatiques et culturales. Ils affectent essentiellement les eaux superficielles au moment où les traitements sont le plus pratiqués (printemps, été).

L'atrazine est transportée sous forme absorbée aux matières en suspension (MES) lors du ruissellement puis elle se désorbe. Elle se trouve ensuite préférentiellement sous forme dissoute dans les eaux de ruissellement (CANN, JONVEL, 1992). On parle de ruissellement hypodermique pour un écoulement se faisant dans les couches superficielles du sol (figure 4).

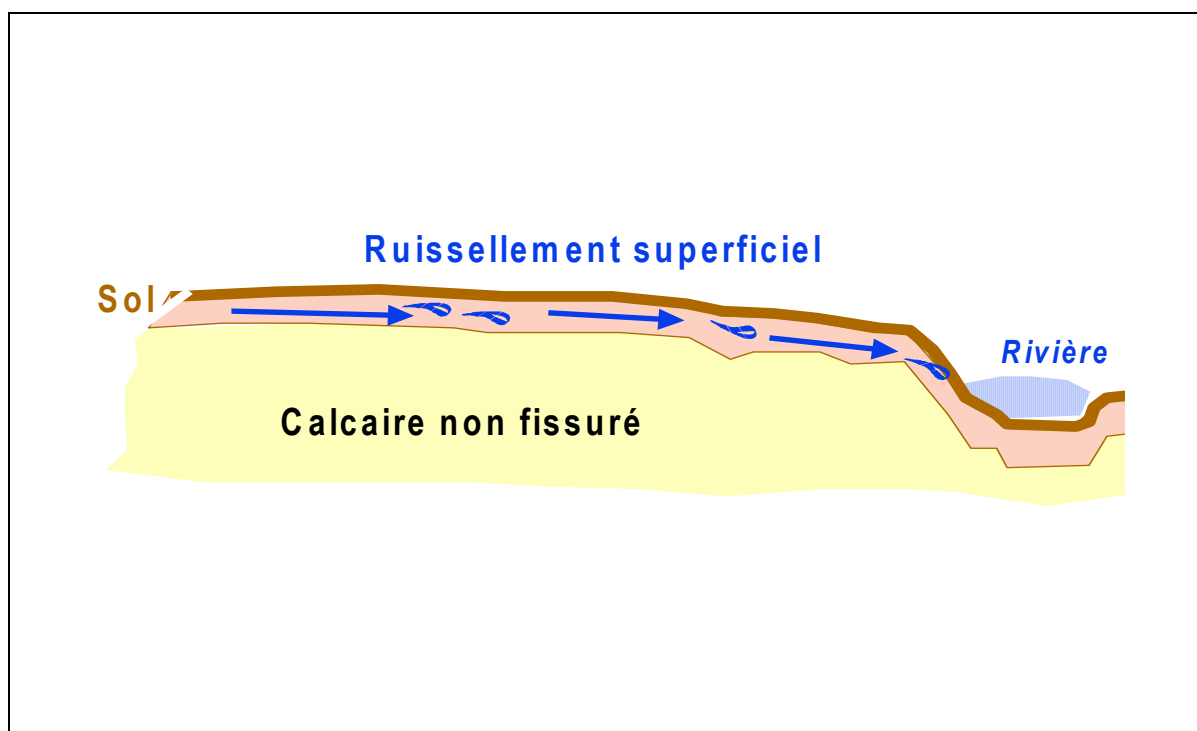


Figure 4 : Ruissellement hypodermique rapide (source : ITCF, 2001).

Lors d'une étude menée sur le bassin versant du Coët-Dan dans le Morbihan, les chercheurs (CEMAGREF, 1992) se sont rendus compte qu'il existait deux types de contaminations :

- l'une chronique caractérisée par des concentrations stables et peu élevées (environ 0,2 µg/l) ;
- l'autre épisodique avec des concentrations parfois supérieures à 4,5 µg/l. Ces pics ont été observés suite à des crues consécutives à des événements pluvieux générateurs de ruissellement (transfert du sol à la rivière).

La concentration due au ruissellement se traduit donc le plus souvent par des pics de teneurs dans les eaux superficielles s'il se produit des épisodes pluvieux intenses pendant la période qui suit les traitements de printemps ou d'été. En automne et en hiver, alors que le ruissellement est intense, les teneurs des cours d'eau en atrazine sont plus faibles du fait d'un effet de dilution et de l'éloignement de la date d'application des produits.

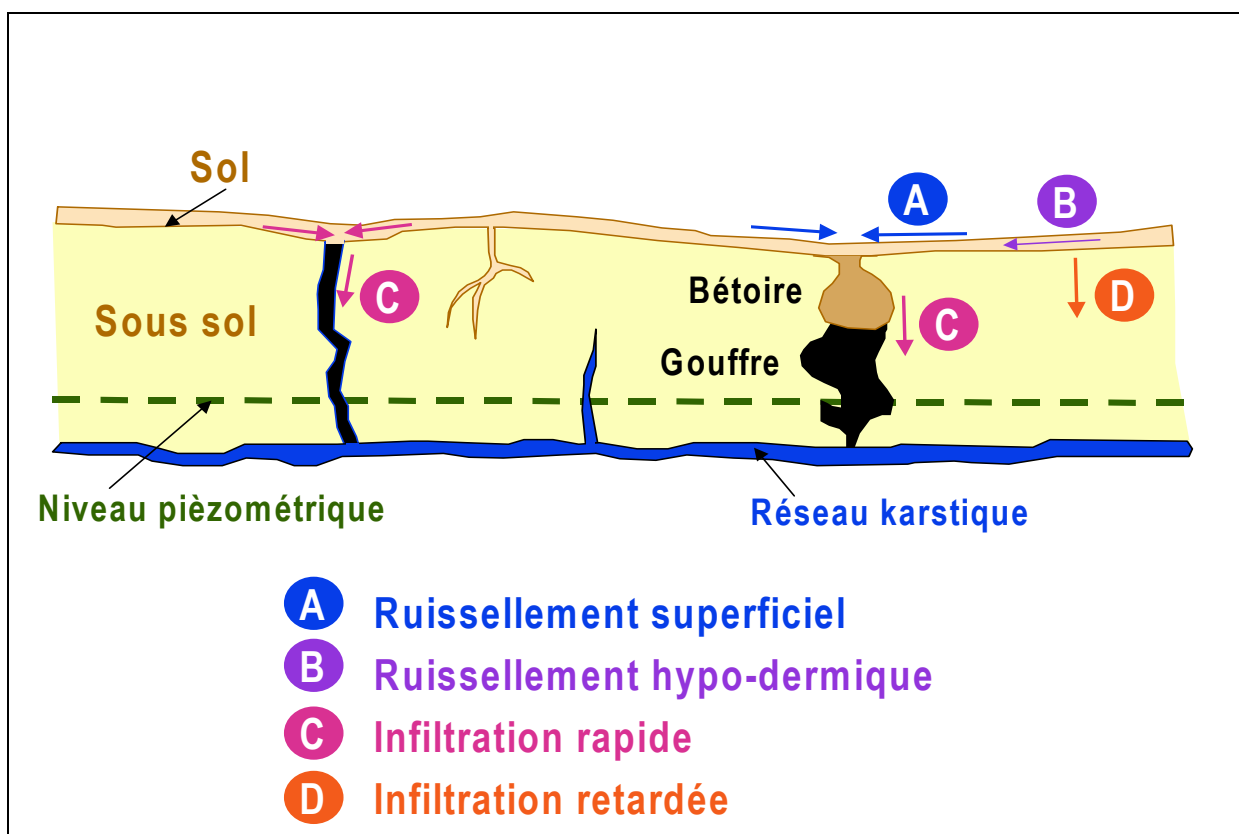
Dans les situations où le ruissellement est dominant (socle imperméable ou forte pente), les molécules sont plus susceptibles de se retrouver dans les eaux superficielles (C.O.R.P.E.N., 1993).

Transfert par infiltration :

Le mécanisme élémentaire mis en jeu est celui de la pénétration dans le sol et le sous-sol des substances entraînées par l'eau. La nature du sol joue un rôle prépondérant et fixe le délai de transfert au travers de la zone non saturée en eau. En effet, un sol argilo-humique induira un temps de rétention important (temps de transfert long) alors qu'un sol grossier (sables, graviers) ou calcaire conduira à une percolation plus rapide des molécules et à leur restitution tel quel dans les eaux souterraines. On parlera d'infiltration retardée ou rapide (figure 5).

L'existence de cheminements souterrains préférentiels (fissuration, fracturation...) aggravera ce mécanisme et plus particulièrement en système karstique (calcaire prédominant). La pollution gagne alors rapidement les zones ainsi affectées (C.O.R.P.E.N., 1993).

On distingue ainsi **quatre principaux types de transferts** de la substance active à l'eau.



II - 2) Devenir dans les milieux

II-2-a) Comportement physico-chimique dans l'eau et le sol (tableau 4)

Tableau 4 : Comportement physico-chimique dans l'environnement (DABENE, MARIE, SMITH, 1995)

Photolyse :	<ul style="list-style-type: none">- DT 50 dans l'eau d'estuaires (lumière solaire) : 3 à 12 jours- DT 50 lumière naturelle : 2 à 6 jours- possible à la surface du sol- pas significative dans l'environnement
Hydrolyse :	<ul style="list-style-type: none">- en hydroxyatrazine dans l'eau et le sol. Elle est difficile à pH neutre, rapide dans les eaux acides et basiques.- hydrolyse catalysée par les acides humiques
Adsorption :	<ul style="list-style-type: none">- $K_d = 0,2 - 18$- $K_{oc} = 100 \text{ cm}^3/\text{g}$- l'atrazine est immobile ou peu mobile sur sol limoneux à limoneux fin pour des pH de 6 à 7,4 avec une teneur en matière organique de 1,8 à 4,9 %.- pas d'adsorption sur les sédiments.- phénomène de rétention de l'atrazine dans les complexes argilo-humiques.

La **DT 50** correspond au temps au bout duquel la moitié des molécules ont été dégradées.

Le **Kd** (coefficient de partage sol - eau) et le **Koc** (coefficient de partage matière organique - eau) sont liés au phénomène d'adsorption.

La substance se caractérise par une résistance relativement élevée aux modifications physiques et chimiques. En outre sa faible solubilité et les valeurs basses de la tension de vapeur indiquent une mobilité réduite. L'atrazine peut-être hydrolysée chimiquement et forme alors de l'hydroxyatrazine inactive qui peut, à son tour, être dégradée par voie microbienne. La dégradation chimique est plus importante que la biodégradation (ou biotransformation) (KOCH, 1989).

Les principaux et premiers métabolites formés de l'atrazine sont la **deséthylatrazine** (DEA), fréquemment mesurée et détectée depuis quelques années, la **déisopropylatrazine** (DIA) et l'hydroxyatrazine.

Il existe de plus des phénomènes d'adsorption de la molécule dans le sol sous forme solide, puis de relargage par dissolution lors d'une présence importante d'eau. Un sol argilo-humique favorisera l'immobilisation des substances (temps de transferts plus long) et ainsi la dégradation des molécules.

II-2-b) *La biotransformation* (tableau 5)

La biotransformation correspond au processus biologique qui permet la conversion de la molécule mère (atrazine ou ses métabolites) en dérivés conjugués.

Tableau 5 : Biodégradation et bioaccumulation (VERSCHUEREN, 1996) (TOMLIN, 1997) (DABENE, MARIE, SMITH, 1995).

Biodégradation :	- DT 50 (en laboratoire) dans le sol limoneux sableux à pH 6,5 et 3,8 % de matière organique pour une dose agronomique de 10 ppm à 25 °C : 70 à 77 jours - DT 50 dans le sol : 35 à 50 jours - 45 à 85 % d'atrazine biodégradée en 30 jours en moyenne en fonction du sol (phénomène d'absorption).
Bioaccumulation :	- facteur de bioaccumulation (BCF) dans le poisson : 3 à 10 jours dans les algues : 10 à 83 jours

La biodégradation de l'atrazine dans le sol met en jeu différents procédés dont les processus microbiologiques, à l'origine des réactions d'hydroxylation ou de déalkylation de l'herbicide (SEGLE, MURANDI, 1990). Le déisopropylatrazine conduit assez rapidement au déalkylatrazine et qui de ce fait n'est jamais en quantité importante ni dans le sol, ni dans les eaux de percolation (PORTAL, BABUT, SCHIAVON, 1992).

En fait le rôle des microorganismes dépend des caractéristiques physiques du sol et de leur localisation (JOCTEUR, MONTROZIER, 1990).

II-3) Bilan

Le devenir d'une matière active dans l'environnement est lié à de nombreux facteurs :

- **caractéristiques du produits :**
 - solubilité ;
 - demie vie (DT 50) ;
 - coefficients de partage (Kd et Koc) ;
 - dose de produit.
- **caractéristiques du milieu :**
 - taux de matière organique (MO) ;
 - taux d'argile ;
 - température et humidité ;
 - activité microbienne du sol ;
 - pédologie et géologie.
- **période d'application ;**
- **climat (pluviométrie, ensoleillement).**

Les interactions entre ces facteurs sont très importantes et mal connues.

Le transfert de l'atrazine (et de son métabolite) vers les eaux souterraines (fuite de la zone racinaire vers la zone saturée) en fonction du temps peut être évalué de la façon suivante :

Tableau 6 : Variation de la dissipation et du transfert de l'atrazine au cours d'une année
(source : GREPPES Région Centre).

Saisons	Printemps	Eté	Automne	Hiver
Météorologie et humidité du sol	- Sol humide	- Evapotranspiration - Risques d'orage	- Augmentation de l'humidité	- Recharge de la nappe
Dissipation de la substance active	- Risque de dérive à l'application - Adsorption sur le sol - Biodégradation - Volatilisation possible	- Dégradation ralentie par le dessèchement du sol	- Diminution progressive du stock	- Faible quantité restante
Transfert de la substance active	- Montée et descente dans le sol selon le bilan précipitations/évaporation	- Substance active peu mobile - Risque de transferts préférentiels dans les fissures	- Entraînement possible vers la nappe	- Risque élevé de fuite vers la nappe (faibles quantités)

La figure 6 résume les phénomènes qui expliquent le devenir des produits phytosanitaires et ainsi de l'atrazine dans l'environnement de façon générale.

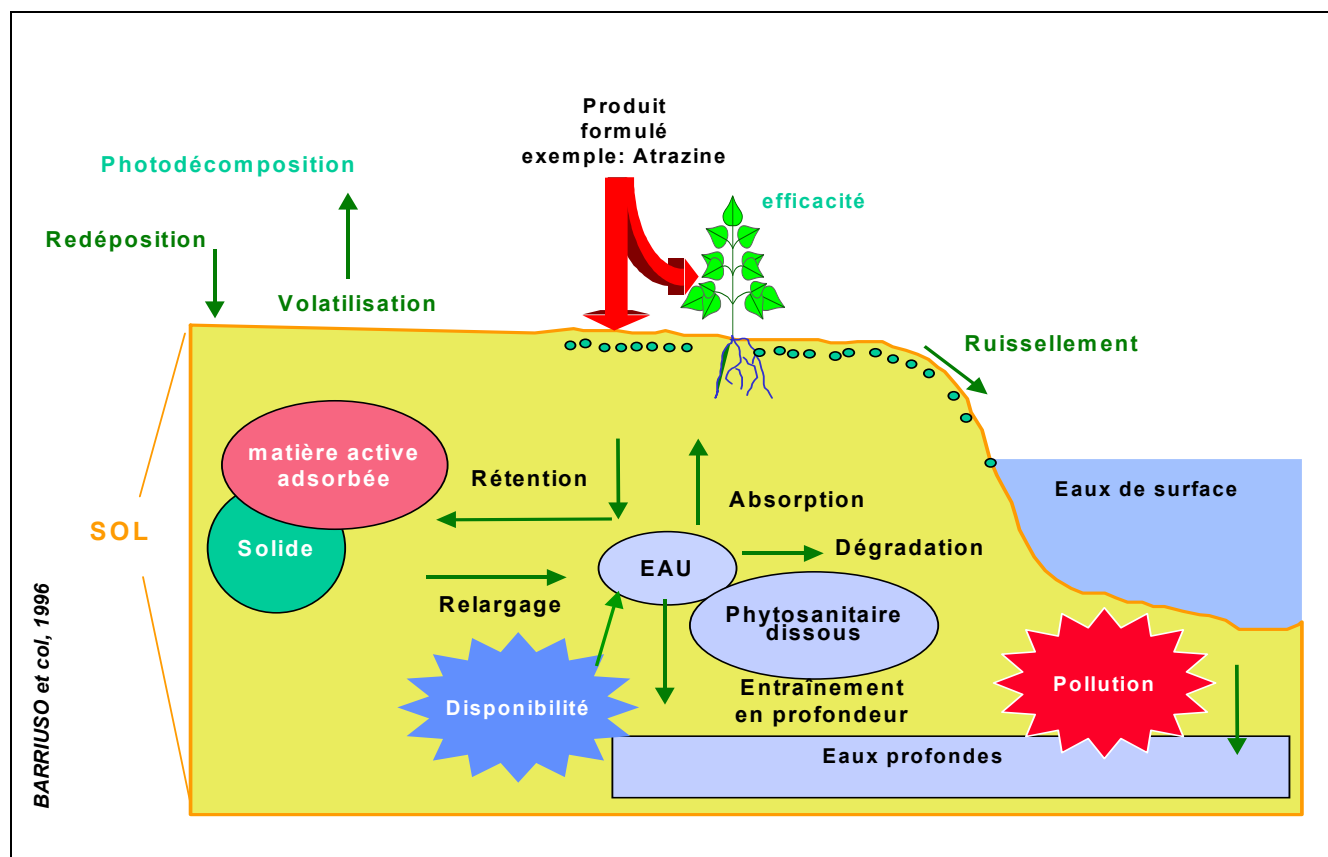


Figure 6 : Phénomènes déterminant le devenir des produits phytosanitaires (source : ITCF, 2001).

Il existe donc de nombreux phénomènes de circulation et de transfert de l'herbicide et de ses métabolites jusque dans l'environnement.

III - Effets biologiques et état des lieux en France

III-1) Incidence sur les organismes vivants (tableau 7)

Tableau 7 : Toxicité pour différents organismes (CLUZEAU, 1999) (TOMLIN, 1997) (DABENE, MARIE, SMITH, 1995) (PERKOW, 1985) (SALOMON, 1996) (PEARSON, CROSSLAND, 1996).

Bactéries aquatiques :	<i>Pseudomonas putida</i> inhibition cellulaire > 10 mg/l
Faune aquatique :	<u>Poissons</u> : - truite arc en ciel, CL 50 (96 h) : 4,5 à 11 mg/l - carpe : 76 mg/l - perche : 16 mg/l - poisson chat : 7,6 mg/l <u>Crustacés</u> : - daphnies, CE 50 (48 h) : 6,9 mg/l - daphnies, CE 50 (24 h) : 87 mg/l
Flore aquatique :	<u>Algues</u> : - <i>Scenedesmus subspicatus</i> , CE 50 (72 h) : 0,043 mg/l - <i>Selenastrum capricornutum</i> , CE 50 (96 h) : 0,13 mg/l - <i>Chlorella sp.</i> , CE 50 (48 h) : 0,022 mg/l
Santé humaine :	- valeur guide pour l'eau potable : - CEE : 0,1 µg/l - OMS : 2 µg/l - risque léger (OMS) - irritation des yeux, irritation modérée de la peau pour le manipulateur
Organismes terrestres :	<u>Vers de terre</u> , DL 50 (14 jours) : 78 mg/kg de sol <u>Abeilles</u> : non toxique Mammifères : - rat, DL 50 : 3080 mg/kg (voie orale) - lapin : 750 mg/kg.
Toxicité :	- En canaux expérimentaux, l'atrazine inhibe la photosynthèse à partir de 0,1 mg/l.

La CL 50 (concentration létale), la DL 50 (dose létale) et la CE 50 (inhibition de croissance) correspondent aux doses moyennes pour lesquels 50 % des individus sont perturbés par la substance (mortalité, inhibition de croissance...). Ces données peuvent correspondre à la mesure de la toxicité aiguë représentant une forte manifestation de la nocivité d'une substance.

La toxicité aiguë de l'atrazine est très faible pour les mammifères en raison de sa faible solubilité. Elle est facilement résorbée après injection orale et plus de 50 % des quantités ingérées sont éliminées par l'urine en l'espace de 24 h. Le Centre International de Recherches sur le Cancer (IARC) a classé l'atrazine comme non cancérigène pour l'homme en 1998 mais les effets à long terme restent toutefois peu connus. Pour l'eau potable, la Dose Journalière Admissible (DJA) est de 0,0005 mg/kg alors que la teneur maximale en résidus sur et dans le maïs peut être de 0,05 mg/kg. L'empoisonnement par l'alimentation ou le manipulation directe du produit est la principale source de danger pour l'homme.

L'impact sur les producteurs primaires est important et ce à des doses retrouvées dans le milieu. Pour l'ensemble des biocénoses, une concentration de 0,02 mg/l dans l'eau semble constituer un seuil à partir duquel des phénomènes de toxicité apparaissent sur le phytoplancton, les macrophytes, les invertébrés et le poisson du milieu récepteur. Des nécroses et une inflammation du foie peuvent apparaître chez la truite arc en ciel pour des concentrations de 0,01 mg/l pour 28 jours d'exposition (HUBERT, 1993). **Des effets directs de l'atrazine ont pu être mis en évidence sur la physiologie et les comportements des poissons**, à des concentrations équivalentes à celles rencontrées durant de longues périodes (plusieurs mois) dans les écosystèmes naturels (MONOD, 1998).

En 1996, les Agences de l'eau avec l'appui du Water Research Centre (WRC), ont réalisées une étude pour déterminer des critères de qualité pour les milieux aquatiques à partir des données écotoxicologiques des produits. Des seuils ont été élaborés afin de délimiter des zones où le risque s'accroît (tableau 8).

Tableau 8 : Seuils déterminés par les Agences de l'eau pour la protection des écosystèmes aquatiques
(source : Agence de l'eau, 1997)

Seuil 1 : 0,2 µg/l		Seuil 2 : 2 µg/l	Seuil 3 : 20 µg/l
Concentrations < S1	Concentrations ≥ S1	Concentrations ≥ S2	Concentrations ≥ S3
Risque négligeable d'effets néfastes pour toute les espèces	Risque possible d'effets chroniques sur les espèces les plus sensibles pouvant aboutir à une diminution des effectifs dans les populations affectées, à une diminution de l'abondances et à une réduction de la diversité.	Risque probable d'effets chroniques sur les espèces sensibles, avec un risque possible pour les organismes moins sensibles, pouvant aboutir à une diminution des effectifs dans les populations affectées, à une diminution de l'abondance et à une augmentation de la population des espèces tolérantes.	Risques d'effets létaux significatifs sur les espèces et à une réduction de la variété des espèces ; les espèces tolérantes dominant.

III-2) Etat des lieux en France

En France, la prise de conscience de la contamination quasi généralisées des eaux, par les produits phytosanitaires et en particuliers par l'atrazine est assez récente (début des années 90). Différents problèmes sont apparus tels que les difficultés d'analyse des résidus (sous produits, ou métabolites), l'évolution permanente du marché phytosanitaire...

III-2-a) *Evolution des quantités vendues*

En 2000, l'Institut Français de l'Environnement a réalisé une étude sur les pesticides dans les eaux. Elle a ainsi recensée la quantité d'herbicides commercialisée de 1996 à 1999 (tableau 9).

Tableau 9 : Etats et évolution des substances actives en tonnes par an de 1996 à 1999 (source : IFEN, 2000)

Années	1996	1997	1998	1999
Total herbicides (tonnes par an)	36 052	33 575	36 439	42 463
Triazines (tonnes par an)	5 341	3 791	3 427	4 044

L'évolution de la quantité d'herbicides est relativement stable pendant cette période malgré une légère hausse de 1998 à 1999 (environ 16 %). **Les triazines représentent environ 10 % de la quantité totale d'herbicides commercialisée.**

III-2-b) *Pics de pollution liés aux périodes de désherbage*

Avec le concours financier de l'Agence de Bassin Adour Garonne, le Conseil Général des Landes a engagé une étude sur la contamination des eaux par les produits phytosanitaires. Les résultats concernant l'atrazine et son principal métabolite, le déséthylatrazine dans la rivière Adour et sa nappe associée (département du Gers), sont exposés dans la figure 7.

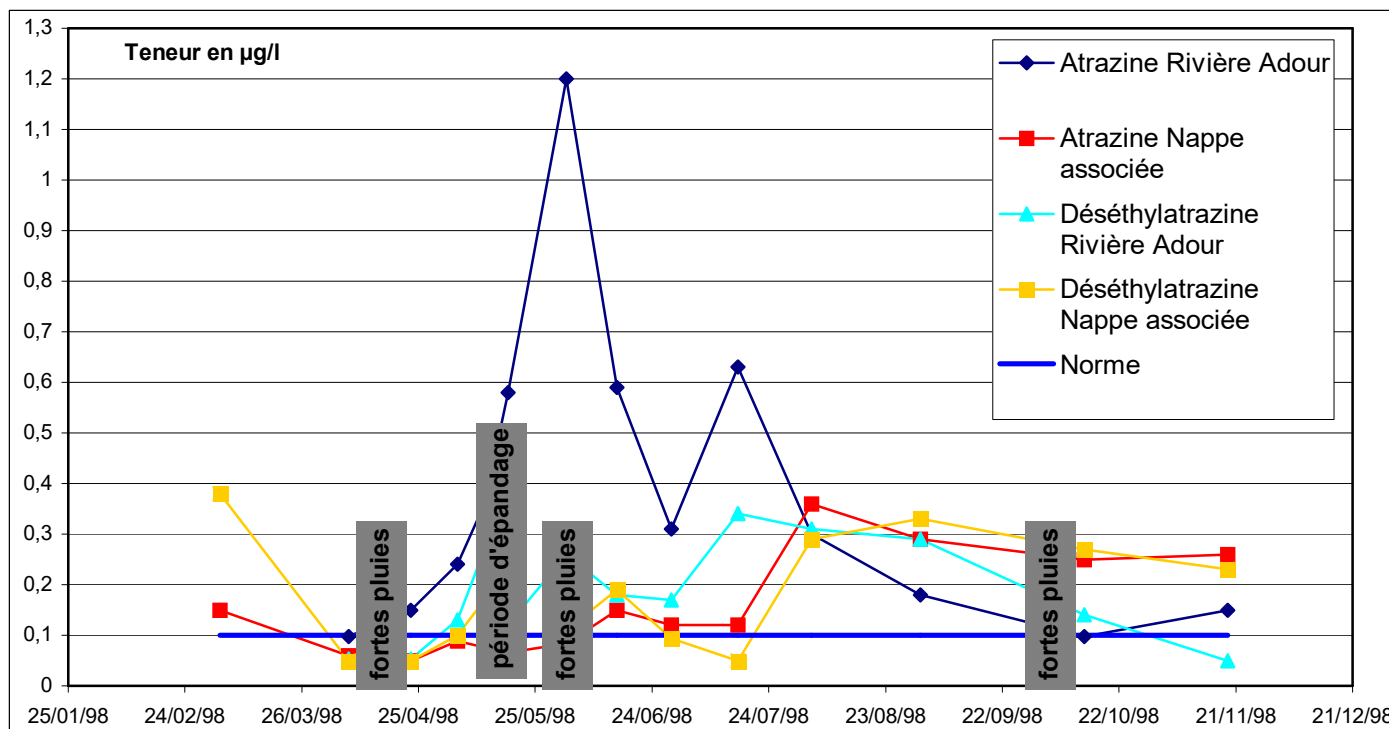


Figure 7 : Concentrations en atrazine et déséthylatrazine dans la rivière Adour et sa nappe associée en corrélation avec les fortes pluies et la période d'épandage en 1998
(source : Conseil Général des Landes).

Dans l'Adour, la teneur en atrazine fluctue entre 0,05 (limite de détection) et 1,2 µg/l. Ce pic de pollution important est constaté sur l'analyse du mois de juin lors d'un épisode pluvieux concordant avec le traitement des cultures s'effectuant ici en mai. On retrouve un second pic en juillet avec une teneur dépassant 0,6 µg/l provoqué certainement par le lessivage des sols lors de l'irrigation des cultures. La concentration en déséthylatrazine varie entre 0,05 et 0,34 µg/l. Différents pics de faible amplitude sont observés en concordance avec les variations d'atrazine.

Dans la nappe associée de l'Adour, il existe une pollution chronique en atrazine et déséthylatrazine sur l'ensemble de l'année (rémanence des produits). Les valeurs vont jusqu'à 0,4 µg/l, soit quatre fois la valeur seuil européenne de 0,1 µg/l. Les fluctuations de ces deux substances sont décalées dans le temps par rapport aux variations dans la rivière et sont parfois supérieures aux concentrations dans celle-ci. Ce phénomène peut être lié au temps de transfert existant lors du passage des molécules du sol vers la nappe (estimation allant de 15 jours à 1 mois).

La contamination peut atteindre des valeurs très importantes (1,2 µg/l dans l'Adour, mais aussi jusqu'à 24 µg/l dans la rivière le Laudon, dans le Gers).

La corrélation avec la pluviométrie et la période d'épandage est évidente en ce qui concerne les forts pics observés (fortes concentrations). Le transfert de la pollution se fait préférentiellement par ruissellement.

III-2-c) Dans les eaux souterraines

• Depuis 1992, l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, avec l'aide des Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales concernées, suit sur 42 captages d'alimentation en eau potable, l'évolution de la pollution par les produits phytosanitaires dans les eaux souterraines.

Au cours de la campagne 1996, 455 analyses ont été effectuées sur l'ensemble du réseau. La répartition des résultats d'analyses concernant l'atrazine donnait les résultats suivants (figure 8).

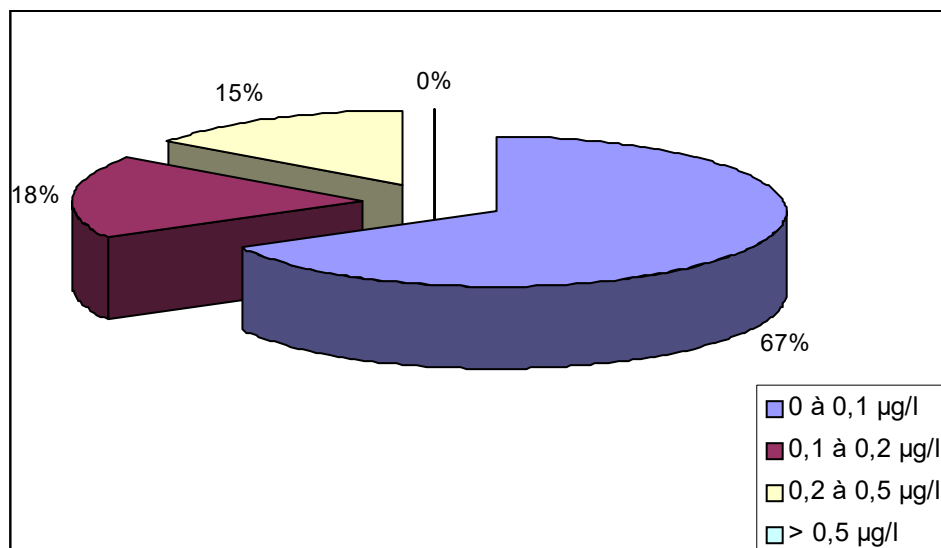


Figure 8 : Répartition des concentrations en atrazine mesurées dans 42 captages du bassin Loire Bretagne en 1996 (source : Agences de l'eau, 1996).

La norme fixée à 2 µg/l pour les eaux brutes souterraines n'est donc pas dépassée. Les valeurs mesurées sont globalement faibles avec 67 % des échantillons ne dépassant pas la valeur de 0,1 µg/l concernant les eaux de consommation. **Cependant la contamination est toutefois généralisée car on retrouve la substance dans 80 % des mesures.**

• En 2000, l'IFEN a réalisée une étude sur les pesticides dans les eaux. Elle a ainsi collectée 7000 résultats d'analyses de pesticides provenant de connaissance générale des eaux superficielles et souterraines des Agences de l'eau et Direction Régionale de l'Environnement (DIREN), des collectivités locales, de la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) et des producteurs d'eau.

Pour l'usage production d'eau potable, elle a réalisé une carte selon les seuils de la norme de 1989 relative au types de traitement fonction des concentrations en pesticides (cf. § réglementation) (figure 9).

Pour les substances individuelles :

- le bleu correspond à des concentrations < 0,1 µg/l,
- l'orange à des concentrations comprises entre 0,1 à 2 µg/l,
- le rouge à des concentrations > 2 µg/l.

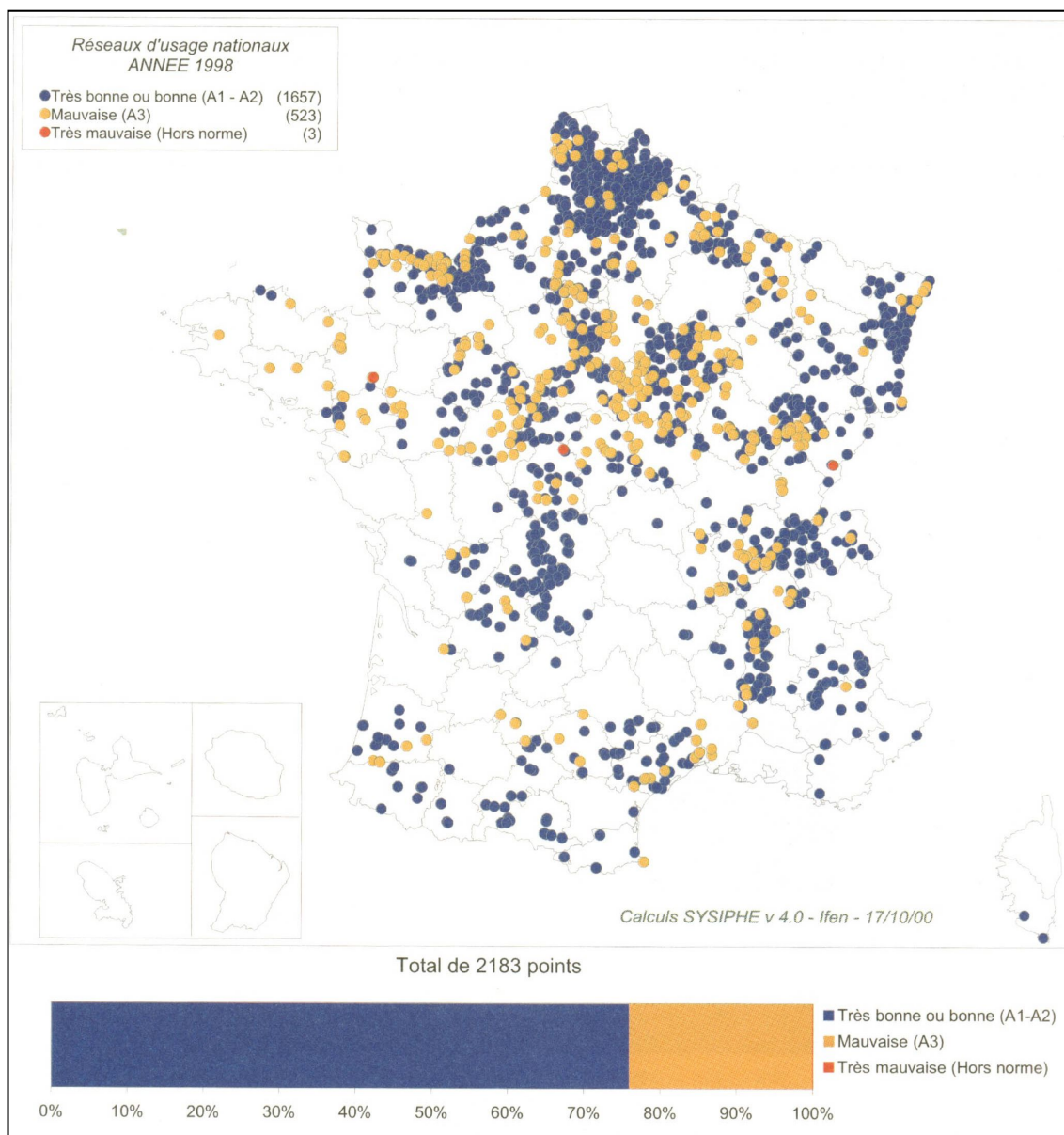


Figure 9 : Qualité des eaux souterraines utilisées pour la production d'eau potable en 1998
(Source : DDASS, Producteurs d'eau potable, calculs IFEN SYSIPHE).

En 1998, 76 % des points appartiennent à la classe permettant une utilisation des ressources sans traitement complémentaire lié à la présence de pesticides. Les 24 % restant présentent des concentrations supérieures à 0,1 µg/l. Ces résultats sont cohérents avec l'étude précédente réalisée par l'Agence de l'eau Loire Bretagne.

Une quantification des dix substances les plus rencontrées a également été réalisée (figure 10).

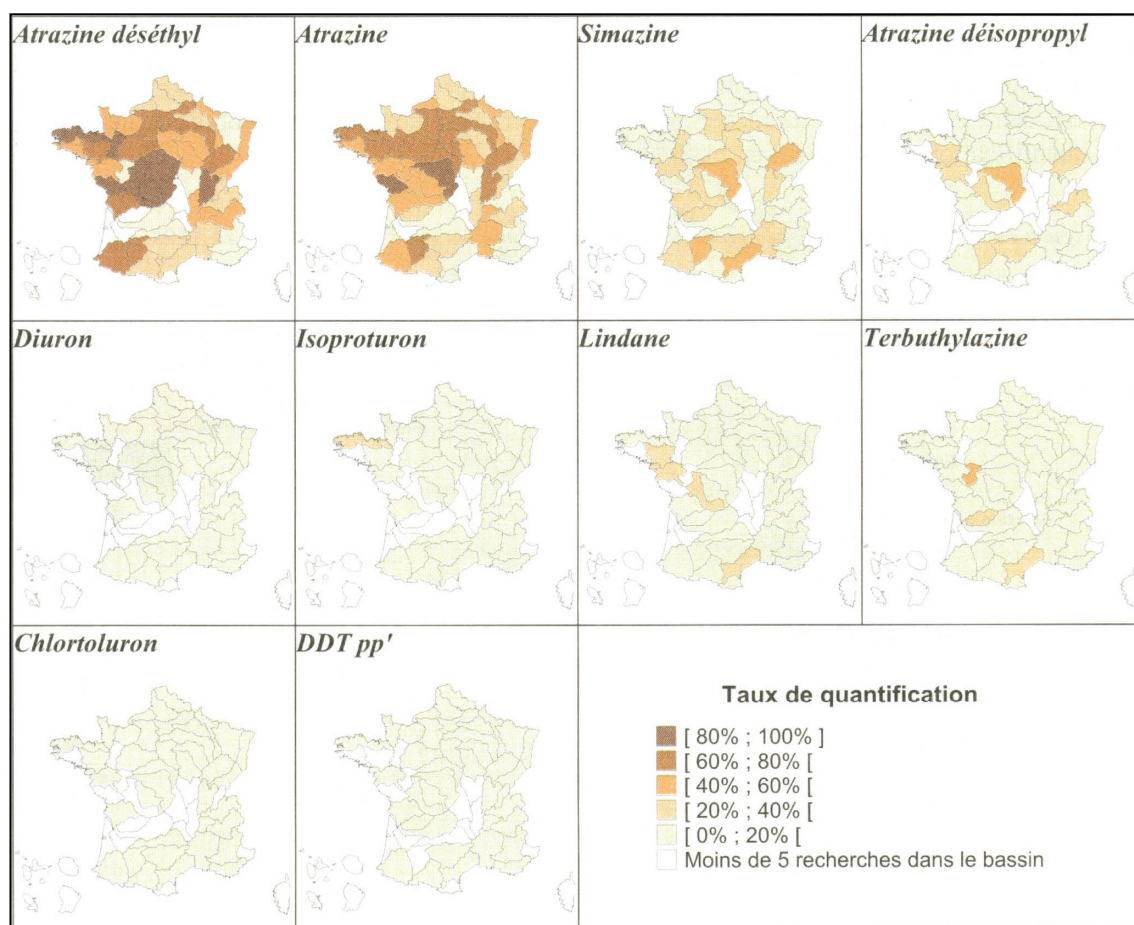


Figure 10 : Répartition spatiale des taux de quantification des dix substances les plus rencontrées dans les eaux souterraines de 1998 à 1999 (Source : Agences de l'eau, DIREN, DDASS, Producteurs d'eau potable, Conseil Généraux, calculs IFEN SYSIPHE)

Les substances les plus fréquemment rencontrées dans les eaux souterraines sont les herbicides de la famille des triazines, avec en tête une des produits de dégradation de l'atrazine, le déséthylatrazine. Ce cas de figure est retrouvé dans différentes études en liaison avec le phénomène de relargage du métabolite.

On trouve l'atrazine en seconde position et un second de ses métabolites en quatrième position, le déisopropylatrazine. La partie Nord du territoire (bassin de la Seine, Rhin Meuse, Loire Bretagne et Artois Picardie) est majoritairement touchée. Le bassin Adour Garonne est également concerné.

En moyenne, 75 % des points de suivi sont altérés par la présence de l'herbicide et de ses métabolites.

III-2-d) Dans les eaux superficielles

• En 1997, une étude a été réalisée par les agences de l'eau pour dresser un état des lieux de la contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires. Les données ont été fournies par la BNDE (Banque Nationale des Données sur l'Eau). Elles sont issues des réseaux de surveillance de la qualité des eaux (suivi pérenne), financés, au plan national (Réseau National de Bassin, RNB) par la Direction de l'eau du Ministère de l'Environnement, et au plan des bassins par les Agences de l'eau (RNB et réseaux complémentaires). Les données traitées (1443 sur 233 stations pour l'atrazine) sont issues des programmes de surveillance des années 1993 à 1995 (GOLASEWSKI, 1997) (figure 11).

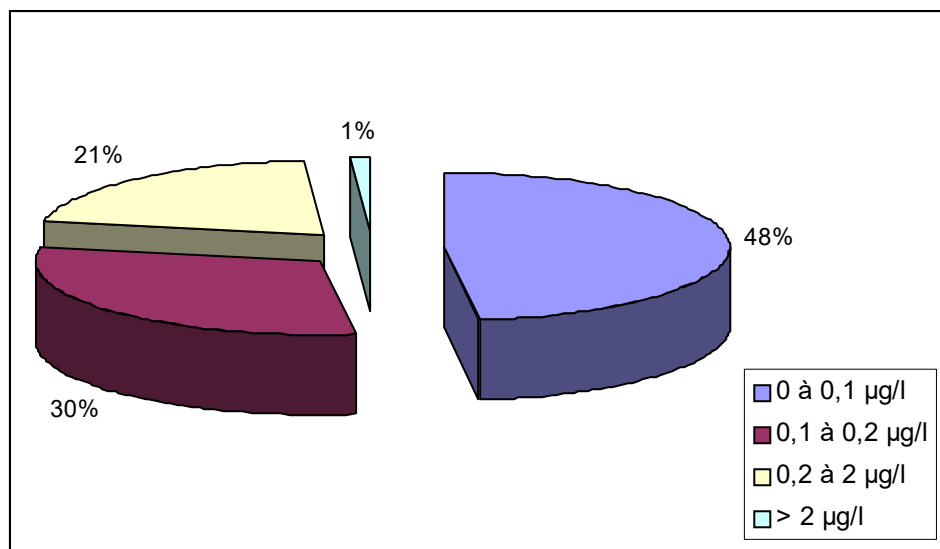


Figure 11 : Répartition des concentrations en atrazine mesurées dans 233 stations en France de 1993 à 1995 (source : Agence de l'eau, 1997).

Pour 22 % des valeurs mesurées, le risque pour les milieux aquatiques est possible (valeurs supérieures aux seuils S1, cf. tableau 8). Concernant l'eau potable, 48 % des valeurs sont inférieures à 0,1 µg/l (valeur CEE). Pour la valeur de recommandation de l'OMS, 99 % des mesures sont conformes. Cependant, les pollutions sont toujours généralisées et concernent l'ensemble du territoire (figure 12).

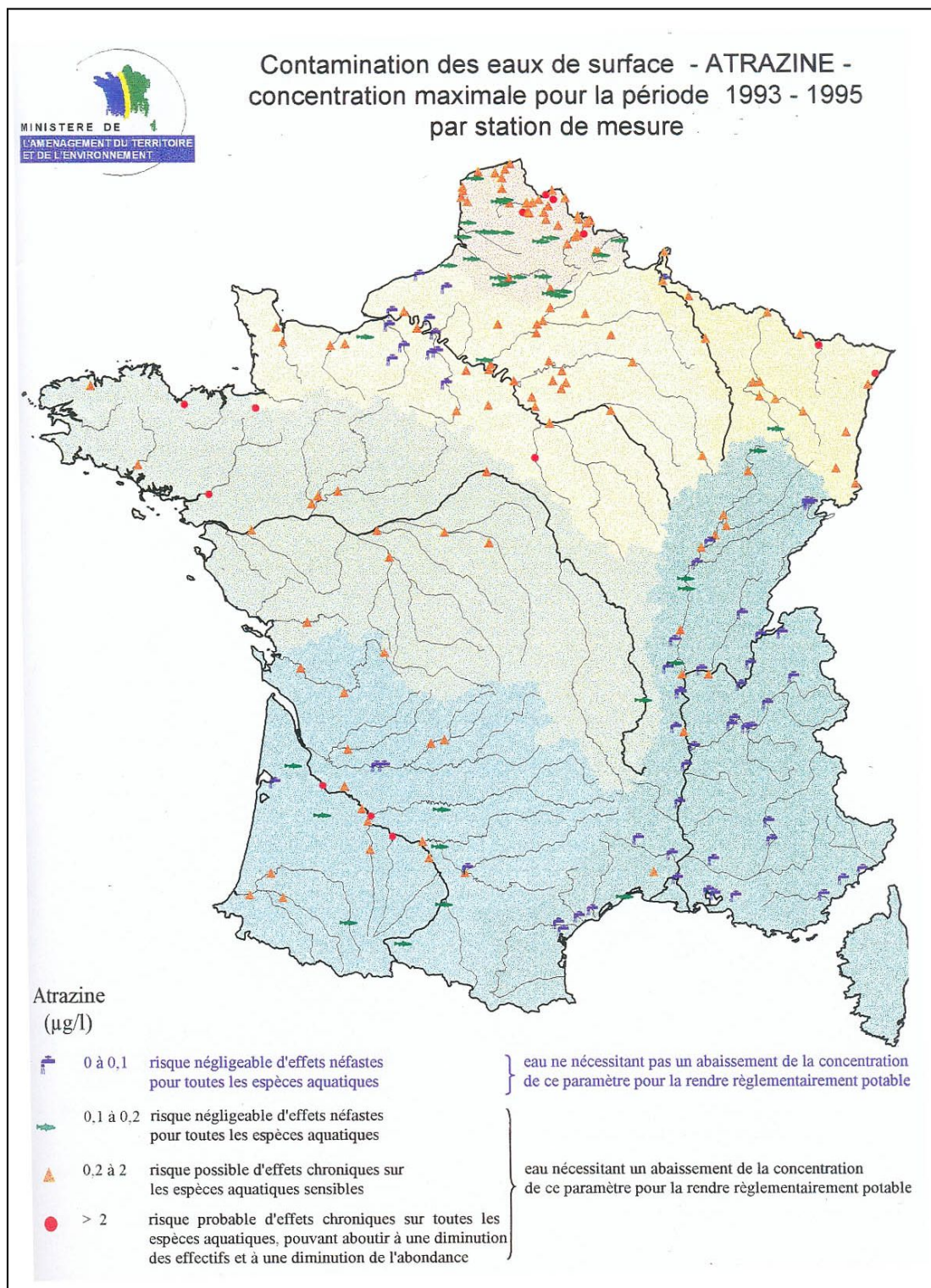


Figure 12 : Contamination des eaux de surface par l'atrazine de 1993 à 1995

(source : Agences de l'eau, 1997).

Le niveau de risque le plus important pour le milieu aquatique est observé plus particulièrement dans les bassins Adour Garonne, Rhin Meuse, Seine Normandie et Loire Bretagne ; sur la Garonne, le Rhin, la Sarre, la Vilaine...

• L'étude réalisée par l'IFEN en 2000 a également cartographié l'aptitude des cours d'eau à produire de l'eau potable (figure 13). Les seuils utilisés correspondent aux valeurs de la norme concernant les différents types de traitements en fonction de la concentration en pesticides dans l'eau brute.

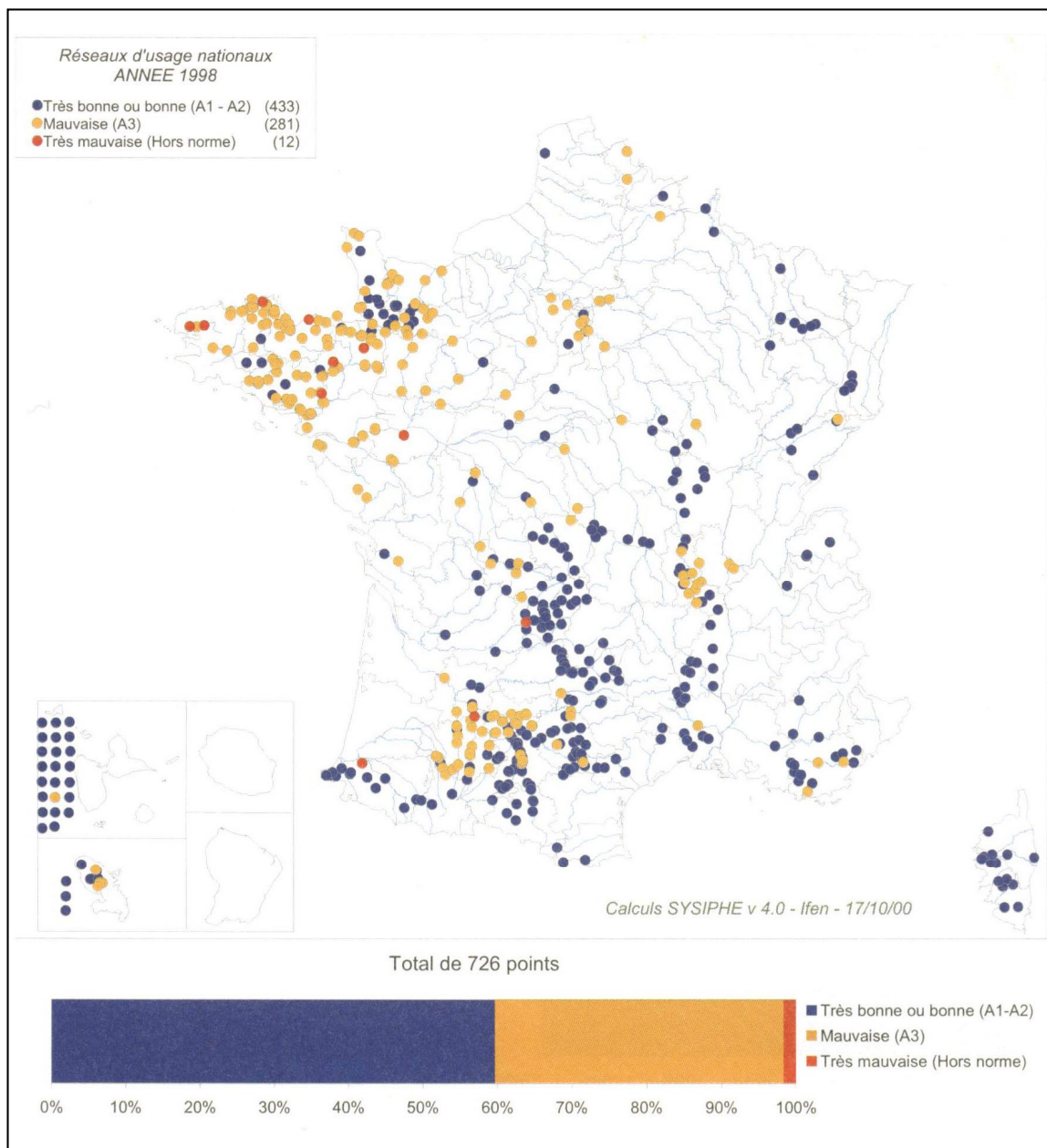


Figure 13 : Qualité des eaux superficielles utilisées pour la production d'eau potable en 1998
(source : DDASS, Producteurs d'eau potable, calculs IFEN SYSIPHE).

L'ensemble des cours d'eau fait l'objet d'une contamination par les pesticides incompatible avec le développement sans risques de la vie aquatique ou avec une consommation d'eau potable sans traitement des pesticides. Près de 40 % des mesures présentent des concentrations supérieures à 0,1 µg/l (24 % pour les eaux souterraines). On trouve également environ 3 % de valeurs hors normes (> 2µg/l).

Une quantification des dix substances les plus rencontrées a également été réalisée pour les eaux superficielles (figure 14).

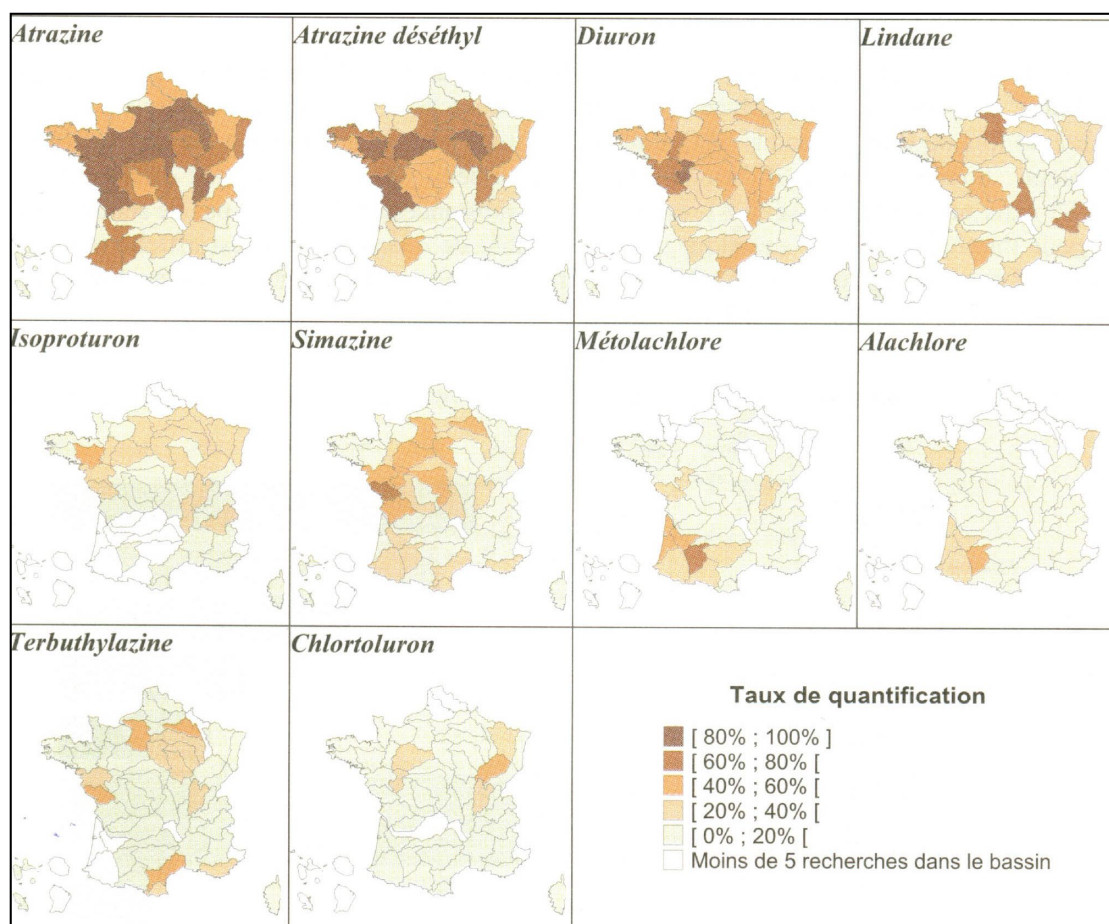


Figure 14 : Répartition spatiale des taux de quantification des dix substances les plus rencontrées dans les eaux superficielles de 1998 à 1999 (Source : Agences de l'eau, DIREN, DDASS, Producteurs d'eau potable, Conseil Généraux, calculs IFEN SYSIPHE).

On trouve l'atrazine en première position et son métabolite en seconde position parmi les substances les plus fréquemment rencontrées. En 2000, les produits de dégradation sont retrouvés dans 50 % des prélèvements dans les eaux de surface (IFEN, 2000). Comme pour les eaux souterraines, la moitié Nord du pays est la plus touchée par la contamination par les pesticides. Sur les bassins de la Seine et de la Loire, la classe 80 – 100 % est très présente.

Ces résultats confirment que la majorité des cours d'eau est l'objet d'une contamination par l'atrazine.

III-2-e) Les zones estuariennes et côtières

Durant différentes campagnes de mesures effectuées de 1991 à 1996, l'Institut Français de Recherche sur la Mer (IFREMER) a fourni des données montrant l'importance des quantités de triazines apportées par les plus grands fleuves français (tableau 10).

Tableau 10 : Flux nets en kg/an de triazines apportés en zones côtières par les principaux fleuves français de 1991 à 1996 (source : IFREMER, IFEN).

Fleuves	Seine (campagnes 5/91, 10/93, 2/95, 6/96)	Loire (campagne 6/95)	Garonne (campagnes 2/92, 6/93, 5/94)	Rhône (campagne 7/92)
Atrazine (kg/an)	2 555 à 5 840	3 285 à 4015	7 300 à 10 950	6 205
Déséthylatrazine (kg/an)	365 à 7 300	1 460	1 825	2 190
Simazine (kg/an)	1 460	1 095	365 à 9 490	2 555

La Garonne a transporté jusqu'à 10 tonnes d'atrazine. Le déséthylatrazine était également en quantité très importante (7 tonnes au maximum dans la Seine). La quantité moyenne d'atrazine et de déséthylatrazine transportés par ces quatre fleuves était d'environ 8 tonnes pour la période de 1991 à 1996.

L'IFEN a montré en 1998, toujours à partir de données IFREMER, que la synthèse des informations disponibles sur les zones estuariennes et côtières prouve que l'ensemble du littoral français est contaminé par les pesticides (principalement herbicides) et que les grands fleuves exportent annuellement une dizaine de tonnes d'herbicides dont environ 2 tonnes d'atrazine et de déséthylatrazine (tableau 11).

Tableau 11 : Flux nets en kg/an de triazines apportés en zones côtières par la Seine et la Loire en 1998 (source : IFREMER, IFEN).

Fleuves	Seine	Loire
Atrazine (kg/an)	1 428	1 565
Déséthylatrazine (kg/an)	1 061	727

Les flux d'atrazine et de son métabolite semblent avoir diminué depuis la période 1991-1996 à 1998. Cette chute importante doit être considérée avec prudence car les valeurs peuvent résulter de traitements de données différents (malgré la même source). Les débits des grands fleuves peuvent également avoir joué un rôle dans ces différences.

La propagation des substances à partir des estuaires des grands fleuves peut être modélisé mais il s'agit de techniques encore expérimentales. L'exemple de la Loire et de la Garonne a cependant été réalisé par l'IFREMER (figure 15).

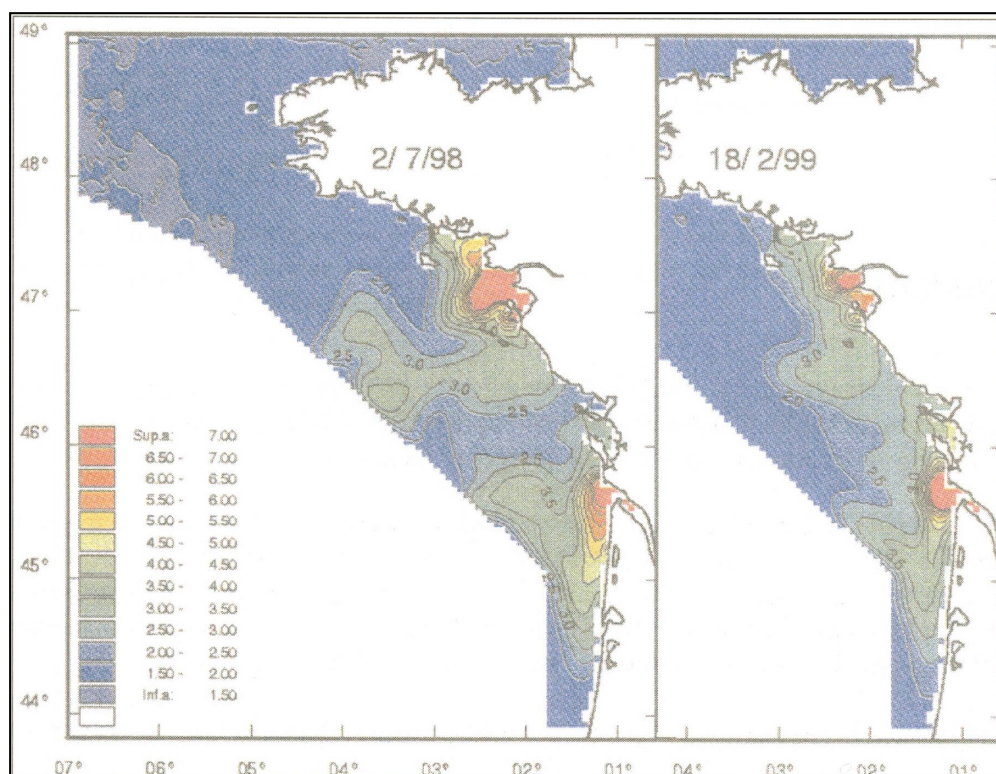


Figure 15 : Modèle hydrodynamique de la propagation d'un pesticide dans le Golfe de Gascogne en août 1998 et en février 1999 (source : IFREMER, IFEN).

Les substances peuvent être retrouvées dans l'océan à des distances importantes de la côte. Les pesticides sont alors sous forme dissoute.

III-2-f) *Dans les eaux de pluies*

En 1997, une synthèse réalisée par le Service Régional de la Protection des Végétaux de la Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Bretagne en collaboration avec Météo France et la participation de Bretagne Eau Pure n°2 et du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche montrait que l'analyse des eaux de pluie est un des moyens d'évaluation assez directement accessible du transfert des produits phytosanitaires dans l'air.

Pour la Bretagne, une première série de mesures de la teneur des eaux de pluie montrait une détection épisodique très irrégulière de quelques matières actives (15% sur les périodes de suivi).

L'atrazine a été mesurée sur une durée moyenne de 62 jours pour une période de détection centrée sur mai-juin, avec une présence de la molécule à presque tous les prélèvements et pour une concentration moyenne de 0,29 µg/l, avec un maximum de 1,31 µg/l.

De nombreux facteurs sont à prendre en compte comme la perméabilité des sols et les débits des rivières concernées afin d'évaluer l'impact de ces pluies sur la qualité des eaux mais avec une pluviométrie voisine de 100 mm sur la période considérée, l'apport total est considéré comme négligeable. Les dérivés de l'atrazine, le déséthylatrazine (DEA) et le déisopropylatrazine (DIA) ont également été détectés.

Des hypothèses ont été formulées sur la couche atmosphérique concernée par la contamination des pluies et la part de volatilisation des produits par rapport à l'entraînement aérien sur des particules. Il est vraisemblable que la couche des premières centaines de mètres est très concernée, mais des études supplémentaires sont nécessaires pour l'analyser précisément (anonyme, 1997).

III-3) Relation avec l'occupation du sol, bilan

III-3-a) *Relation entre la Surface Agricole Utile et la pollution en Atrazine*

Si on compare la répartition de la Surface Agricole Utilisée (SAU) en France par région (figure 16) et le pourcentage d'atrazine quantifiée dans les mesures de pollution des cours d'eau et des nappes (figures 10 et 14), on remarque qu'il existe une relation évidente entre la pollution en herbicide et l'importance de la surface agricole.

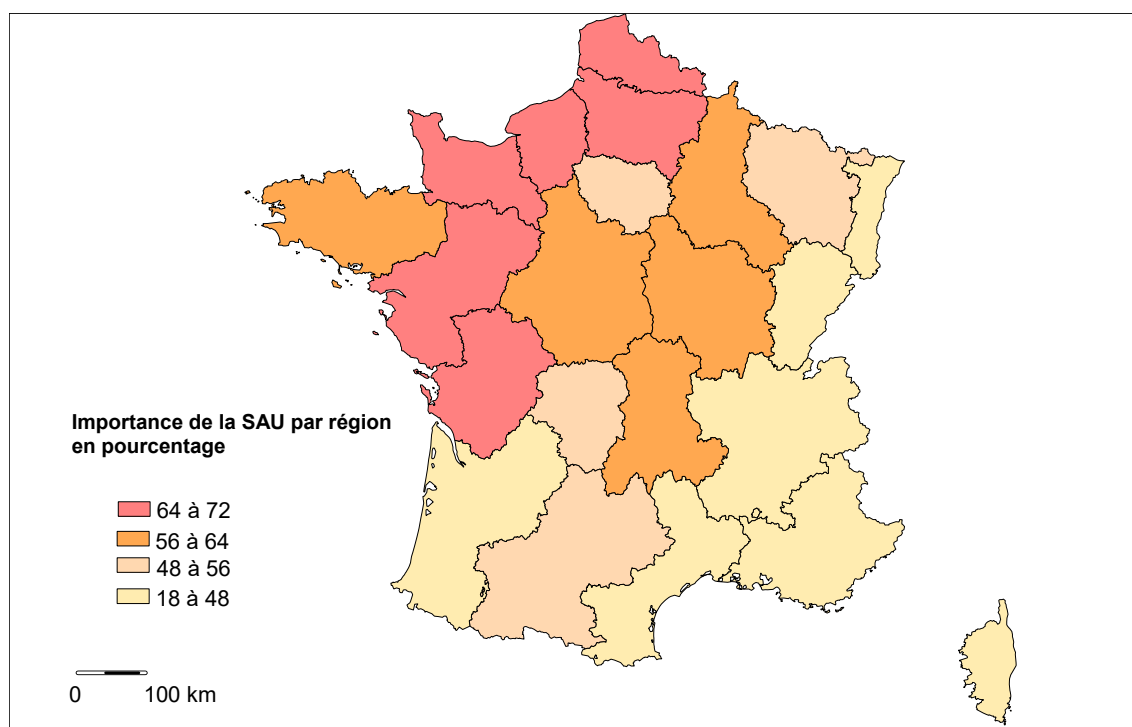


Figure 16 : Carte du pourcentage de SAU par régions
(source : Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, recensement agricole 2000, IFEN).

Les régions du Centre-Ouest de la France sont fortement agricoles et la présence d'atrazine est confirmée dans cette partie du territoire. Cependant, dans le Sud-Ouest, la culture du maïs est très développée (Landes, Gers...) et l'atrazine souvent à l'origine de pollution. Pourtant, la SAU ne

représente pas un fort pourcentage en Aquitaine (18 à 48 %). Les pollutions seront beaucoup plus localisées.

III-3-b) *Bilan*

Les résultats obtenus à partir des données des années 1998 et 1999 confirment la présence des pesticides en quantité susceptible de perturber le milieu ou de dépasser les seuils admissibles pour la production d'eau potable. On les retrouve sur l'ensemble des cours d'eau suivis au niveau national et l'atrazine est la substance active la plus fréquemment détectée.

Malgré une stabilité importante et une solubilité dans l'eau faible, la pollution des nappes, rivières et eaux de consommation par l'Atrazine et ses métabolites est généralisée en 1998 et 1999 (IFEN, 1999). On trouve jusqu'à :

- 4 fois la valeur seuil (0,1 µg/l) dans les nappes,**
- 10 fois cette valeur dans les eaux de surfaces.**

Localement, la simultanéité des pluies et du traitement des champs provoque parfois des pics de pollution pouvant dépasser les 20 µg/l. On parle ainsi de pollutions épisodiques mais présentant de fortes concentrations liées au ruissellement et de pollutions chroniques ou résiduelles liées à l'infiltration dans les nappes.

IV - Réflexion sur son interdiction et ses produits de substitution

IV-1) Le contexte avant l'interdiction

A la suite de pollutions fortes dans les eaux de consommation et les eaux superficielles et souterraines, plusieurs départements ont pris des mesures pour limiter ces nuisances :

- Le 15 avril 1998, le préfet d'Ille-et-Vilaine prenait un arrêté d'interdiction partielle de l'atrazine. Les concentrations dépassant dans 60 % des cas la valeur de 0,1 µg/l et atteignant 10 µg/l, le département a imposé une distance minimale d'utilisation de l'herbicide par rapport aux différents points d'eau (captage, rivière...).

- Autre exemple avec le département du Gers possédant une culture du maïs fortement développé dans le bassin versant de l'Adour, qui, par arrêté préfectoral signé le 4 avril 2000, a décidé d'agir en instaurant notamment la réduction des apports d'atrazine de 25 % (750 g/ha au lieu de 1000 g/ha) dans certaines zones (captages, nappe sensible, rivière...).

La consommation de l'eau a été interdite dans des communes des régions Bretagne, Ile-de-France, Champagne-Ardenne, Centre et Midi-Pyrénées suite à des dépassement trop fréquents de la norme. La région Bretagne a fortement participé à cette prise de conscience jusqu'à la procédure de retrait du 28 septembre 2001.

L'Allemagne a interdit les triazines en mars 2001 à la suite d'une présence très importante dans les eaux souterraines. En Italie, des restrictions ont été introduites en 1991 jusqu'à son interdiction totale en 1996. Au Danemark, elle est également interdite depuis 1994.

Malgré une série de réductions des doses homologuées des préparations concernées, les normes de la directive européenne du 15 juillet 1980 qui fixait une concentration maximale à 0,1 µg/l, sont régulièrement dépassées. Le non respect de ces valeurs ainsi que la menace de condamnation de la France par le Tribunal Européen pour avoir manqué à ses obligations en matière de qualité de l'eau, ont conduit l'état à interdire l'atrazine.

IV-2) La procédure de retrait de l'atrazine

Le 28 septembre 2001, Jean GLAVANY, alors ministre de l'Agriculture et de la Pêche, a engagé la procédure de retrait de l'homologation de l'atrazine et d'autres herbicides de la familles des triazines. Le retrait de l'autorisation de mise sur le marché requise pour la commercialisation des produits fut applicable au **30 septembre 2002**. L'usage même des produits par ses utilisateurs finaux sera interdit à compter du **30 juin 2003 (journal officiel du 27 novembre 2002)**.

Cette procédure de retrait d'homologation constitue l'aboutissement de la démarche d'évaluation des risques, engagée par le ministre de l'Agriculture et de la Pêche en mars 2001. Elle fait suite à une analyse convergente des différents ministères concernés (Agriculture, Santé et Environnement), des avis respectivement rendus par le Comité d'homologation des produits anti-parasitaires, la Commission des

produits anti-parasitaires, la Commission d'étude de la toxicité des produits anti-parasitaires et l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA).

Cette décision s'est fondée sur trois motifs principaux :

- la présence généralisée dans l'eau de traces d'atrazine et de ses produits dérivés : 40 % des prélèvements effectués en eaux de surface et 25 % des prélèvements en eaux souterraines nécessitent la mise en place d'un traitement de l'eau ;
- une évaluation actualisée des risques sanitaires établie par l'AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments) qui, si elle confirme l'absence de risques cancérogènes avérés, maintient sa recommandation de ne plus consommer l'eau lorsque la présence d'atrazine et de ses dérivés dépassent des valeurs-seuils situées à respectivement 0,4 µg/l pour les nourrissons, 0,6 µg/l pour les enfants et 2 µg/l pour les adultes, soit des niveaux atteints dans un nombre croissant de cas ;
- l'observation d'une efficacité de moins en moins avérée de l'atrazine, liée non seulement à la réduction des dosages autorisés mais aussi à l'apparition de phénomènes de résistances de certaines mauvaises herbes à cette famille de pesticides, utilisée d'autant plus largement qu'elle se situe parmi les moins chères du marché.

« Cette décision, doit permettre de faire un pas significatif en direction d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement, et qui répond d'avantage aux attentes de nos concitoyens. Elle contribuera à une reconquête progressive de la qualité de l'eau » a déclaré Jean GLAVANY.

L'atrazine n'est pas la seule concernée car toute la famille des triazines l'est (tableau 12).

Tableau 12 : Décisions portant sur les triazines concernées par la procédure du 28 septembre 2001
(source : Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales).

Substances actives	Décisions
Atrazine	Retrait des préparations pour tous les usages (maïs, sorgho,...).
Simazine	Retrait des préparations pour tous les usages (arboriculture, vigne).
Terbutylazine	Retrait des préparations pour les usages sur arbres d'ornement, pommiers, poiriers, maïs, sorgho, et traitement parcs et jardins. L'usage sur vigne est maintenue.
Cyanazine	Retrait des préparations pour tous les usages.
Amétryne	Retrait des préparations pour l'usage maïs.
Terbutryne	Retrait des préparations pour l'usage maïs.

IV-3) Les solutions de remplacement

La suppression de l'atrazine va induire des méthodes récentes (O.G.M.) ou existantes (désherbage mécanique) pour lutter contre les mauvaises herbes. Celles-ci vont devoir intervenir en solution de remplacement complet des herbicides de la famille des triazines. On distingue ainsi plusieurs alternatives.

IV-3-a) *Pratiques culturales (indications du CORPEN, Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates, les phosphates, et les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles)*

Parmi les pratiques culturales, on trouvera différentes techniques de désherbage mécanique, de rotations des cultures et autres :

- **Pratique de l'assolement *** : elle permet à la fois de limiter les phénomènes de ruissellement, d'écoulements hypodermiques et d'érosion mais aussi de diminuer les risques de résistance des adventices.

- **Désherbage mécanique** : il est généralement effectué par chaumage *, binage *, sarclage *, buttage * ou hersage * en complément d'un désherbage chimique. Il est cependant tributaire de la nature des sols et des cultures : il est plutôt favorable de le pratiquer sur des sols tassés ou froids pour des cultures peu sensibles à cette technique (maïs, colza ...). La technique du **désherbage mixte** permet d'effectuer simultanément, à l'aide d'un matériel spécifique, un binage entre les rangs de culture et un désherbage chimique sur le rang. Elle permet ainsi de diminuer de 2/3 la surface traitée et ainsi l'utilisation de substances actives.

- **Couverture du sol** : il s'agit d'une technique ancienne qui empêche la levée des adventices. Il est réalisé soit avec une composition d'écorces fraîches ou compostées ou de paille, soit avec un paillage plastique.

- **Technique du faux semis** : elle consiste à réaliser un lit de germination favorable à la levée des adventices. Après une céréale, un déchaumage « faux semis » effectué peu après la moisson, peut permettre la levée d'un nombre important de graines d'adventices. Elles sont alors détruites lors de la préparation du sol pour le semis de la culture suivante. Encore une fois, cette technique permet de réduire les doses de produits nécessaires.

- **Désherbage thermique** : le principe consiste à créer un choc thermique (70 °C) aboutissant à la destruction des mauvaises herbes. La prise en compte du stade de la culture est un facteur essentiel à sa réalisation. Contrairement au passage d'outils mécaniques, il présente l'avantage de ne pas induire une levée des adventices après l'intervention. Le choc thermique peut s'avérer insuffisant pour certaines adventices comme les graminées. Cette technique reste difficile et coûteuse à mettre en œuvre.

- **Méthodes biologiques** : ces méthodes regroupent toutes les utilisations des ennemis naturels ou agents infectieux des adventices pour réduire leurs populations en dessous des seuils de nuisibilité. Différentes pistes de recherches sont actuellement à l'étude avec notamment la mise au point de mycoherbicides, la recherche de ravageurs spécifiques de mauvaises herbes ou encore avec l'utilisation d'extraits de plantes spécifiques.

En pratique, si ces techniques n'utilisant pas ou peu d'intrants chimiques donnent de bons résultats dans certaines situations, leur développement reste toutefois limité en raison d'une adaptation difficile dans certains contextes, d'un prix de revient, notamment du matériel, parfois élevé et de l'utilisation plus importante de main d'œuvre. Cependant, des soutiens financiers existent pour encourager ce genre de pratique.

IV-3-b) *Les molécules de substitution*

Il existe actuellement près de 140 substances actives parmi les herbicides, appartenant à 41 familles chimiques (**ANNEXE 1**).

Le choix d'un pesticide de remplacement se fera surtout en fonction des contraintes agricoles : nature du terrain, nature des adventices, saisons etc.... Ainsi le coût ne sera pas dans ce cas un facteur déterminant car l'effet recherché est l'élimination efficace des mauvaises herbes pour une culture donnée. Du point de vue technique les méthodes d'application restent les mêmes et n'engendrent pas l'intervention de main d'œuvre supplémentaire. Au niveau écologique, un produit qui aura une meilleure solubilité sera plus facilement lessivé et passera par conséquent d'avantage dans les eaux souterraines. A l'inverse un produit peu soluble aura tendance à s'accumuler sur la surface traitée et à être entraîné dans les eaux de surface par ruissellement. En fait, le comportement des molécules dans le milieu naturel sera lié au sol (VAN DER WERF, 1996).

Des essais de substitution de l'atrazine par l'alachlore, le métolachlore et la terbutylazine ont été réalisés de 1990 à 1994 sur le bassin du Dragon (MONTIEL, 1994). Bien que la substitution ait conduit à une application plus importante de produit phytosanitaire en kg/ha, le terbutylazine (retiré par la procédure du 28 septembre 2001) fut détecté parfois en très faibles quantités (de l'ordre de 0,05 µg/l) alors que l'alachlore et le métolachlore ne furent jamais détectés. La cyanazine est une molécule active possédant une bonne biodégradabilité qui était préconisée, suivant la nature du sol, pour le remplacement de l'atrazine mais elle est aujourd'hui également interdite.

De nombreux autres produits peuvent se substituer à l'atrazine, que ce soit en pré-levée * ou en post-levée * (**ANNEXE 4 : Produits de substitution de l'atrazine**) . Les spectres d'efficacité des produits concernés sont généralement moins larges que celui de l'atrazine.

Les coûts et doses homologuées de quelques uns de ces produits sont présentés en annexe. On retrouve des produits tels que l'alachlore, l'acétochlore ou des substances associées ; métosulam et fluthiamide, métosulam et métolachlore... La combinaison de ces différents produits permet de nombreux programmes de désherbage, mais nécessite généralement deux passages.

Certains de ces produits sont récents et très peu détectés mais des substances telles que l'alachlore et le métolachlore sont déjà présentes dans l'environnement (cf. figure 14).

Il existe un réel problème face à ces techniques de substitution chimique car l'augmentation de l'utilisation de ces produits peut rapidement aboutir à une contamination généralisée des eaux et ainsi rejoindre la situation actuelle observée avec l'atrazine.

L'introduction sur le marché de nouvelles molécules plus efficaces et utilisées en plus faible quantité va induire des concentrations dans les eaux en dessous des seuils de détection. Les caractéristiques de ces molécules comme leur mobilité dans l'environnement, leur toxicité vis à vis des milieux aquatiques doivent faire l'objet d'études précises.

IV-3-c) *Bilan des principales techniques alternatives*

En 2000, lors d'une étude concernant les techniques alternatives à l'utilisation de l'atrazine, les Agences de l'eau retenaient quatre techniques dont deux de substitution chimique, un désherbage mécanique et une technique mixte (tableau 13).

Tableau 13 : Tableau comparatif des principales techniques alternatives à l'atrazine

(source : Agences de l'eau, 2000).

Techniques	Coût du produits (F/ha)	Coût par passage (hors produits) (F/ha)	Nombre de passages	Efficacité	Evaluation environnementale
Atrazine	60	35	1 ou 2	Bonne, utilisation aisée	
Substitution chimique					
- Deux passages (pré-lévée, post-lévée)	600 – 700	35	2	Bonne efficacité, mais plus technique d'utilisation	Possibilité d'utiliser des produits moins mobiles, problèmes des pollutions ponctuelles
- Deux passages en post-lévée	500 – 600	35	2		
Herse	0	70 – 100	Nombreux	Satisfaisante sous réserve d'un suivi précis des parcelles, des possibilités d'intervention et de rotations adaptées, requiert technique et expérience	Bonne
Binage-dés herbage chimique	150 – 200	110 – 140	2	Bonne efficacité, requiert technique et expérience pour le binage	Bonne, limite à un seul passage de traitement chimique

- Globalement, la substitution chimique induit :

- une technicité accrue (connaissances précise des mauvaises herbes, un réglage précis du matériel, respect des conditions climatiques particulières ...) ;
- des difficultés à contrôler certaines mauvaises herbes sans augmenter les doses et les interventions (possible inversion et augmentation de la pression de la flore) ;
- un surcoût pouvant atteindre 150 F/ha pour le maïs (soit environ 23 euros);
- des impacts peu connus sur l'environnement.

- Le désherbage mécanique du maïs et des céréales à paille est une solution possible mais il fait appel à un niveau de technicité élevée (et un matériel spécifique). C'est le mode utilisé par l'agriculture biologique.

- Le désherbage mixte présente l'avantage de réduire de manière importante les quantités d'herbicides utilisés. Malgré un surcoût, cette technique tend à se développer.

IV-3-d) Les biopesticides

L'élimination de la flore adventice nécessite l'utilisation de molécules phytotoxiques efficaces et sélectives, de façon à ne pas affecter les cultures. Un moyen de rendre une plante tolérante aux produits phytosanitaires utilisés est de rendre la cible cellulaire insensible à l'herbicide, ce qui est devenu possible grâce au génie génétique.

Le génie génétique* permet d'isoler des gènes à partir de n'importe quel organisme et de les transférer aux plantes. Cette technique permet ainsi de créer de nouvelles variétés végétales ou Organismes Génétiquement Modifiées (O.G.M.). L'introduction de gène conférant une résistance à un herbicide, un insecte ou à diverses maladies, permet ainsi de faciliter les pratiques culturales, et les rendements s'en trouvent nettement améliorés (Anonyme, 1993). Ce domaine est très récent et actuellement en pleine expansion. Depuis les années 80, de nombreux travaux ont été réalisés sur les cultures de maïs aux Etats Unis en particulier.

Bien que l'on possède encore peu de recul sur ces nouvelles technologies , les avantages et les risques pour l'environnement font aussi l'objet d'évaluation. Certaines applications présentent l'intérêt de mieux maîtriser les traitements phytosanitaires ou d'utiliser des molécules plus adaptées, permettant ainsi de réduire la pollution des eaux. Toutefois de nombreuses interrogations subsistent, d'une part, sur la notion même de risque acceptable et, d'autre part, sur les conséquences de la dissémination des O.G.M. dans les écosystèmes et les interactions avec le milieu naturel. Ces biotechnologies suscitent une importante polémique éthique et écologique où le principe de précaution s'applique encore en France.

IV-3-e) L'organisation des programmes

Le succès d'une action visant à développer les techniques alternatives à l'atrazine repose sur des règles de cohérence :

- la réalisation d'un diagnostic complet sur la base de la démarche CORPEN. Aujourd'hui, les agriculteurs tentent par exemple d'adapter l'intervention en fonction de la culture et de la flore adventice. L'identification de celle-ci et l'évaluation de son caractère nuisible permettent de définir l'opportunité du traitement (évaluation agronomique). L'aménagement du territoire est également d'une grande importance avec les programmes de conservation des talus et des haies afin de freiner l'écoulement de l'eau et favoriser son infiltration. La mise en place de bandes enherbées permet également l'interception des écoulements et la limitation de la contamination des eaux.

Des études ont montré qu'une bande enherbée de 6 mètres de large peut retenir les trois quart des particules en suspension (AGPM-TECHNIQUE, 2002).

- la définition d'objectifs environnementaux clairs (concentrations maximales pour les principales molécules cibles et leurs dérivés, valeur maximale pour la somme des concentrations...) ;

- la définition de moyens adaptés aux objectifs fixés réglementaires, techniques (accompagnement indispensable), financiers (Contrats Territoriaux d'Exploitation CTE, périmètre de protection des captages...) ;

- la mise en place d'outils d'évaluation avec des indicateurs de résultats (liés aux objectifs fixés), des indicateurs de moyens (vérification de la mise en place des actions prévues), et des indicateurs d'évolution des pratiques...

Dans le cas des programmes de réduction des pollutions agricoles par les pesticides, l'association de l'ensemble des acteurs para-agricoles est indispensable. Il s'agit de l'ensemble des distributeurs qui influent directement sur les choix techniques des agriculteurs mais aussi des filières aval en vue d'intégrer l'amélioration des pratiques dans une démarche de reconnaissance commerciale de la qualité des produits (agriculture raisonnée, intégrée...).

L'instauration des techniques alternatives à l'utilisation de l'atrazine doit, de nos jours, s'inscrire dans cette démarche dite « de qualité ».

Conclusion

La procédure de retrait de l'atrazine (et autres triazines) induit aujourd'hui de nombreuses problématiques pour les agriculteurs mais aussi pour tous les acteurs de la gestion de l'eau.

L'état Français veut officiellement reconquérir la qualité des eaux mais cette interdiction n'aura, d'après de nombreux écologistes, que pour effet direct de « déplacer le problème » vers de nouvelles contaminations par des substances « moins bien connues que l'atrazine et moins facilement détectables ».

La présence de la molécule et de ses métabolites est encore aujourd'hui généralisée dans tous les types d'eaux. Les études concernant le transfert des substances dans un bassin versant et les dangers pour les organismes vivants sont conséquentes mais une certaine part d'incertitude demeure au vu du nombre de facteurs jouant sur ces phénomènes.

Cependant, l'atrazine disparaissant des techniques agricoles, les nouveaux programmes de traitement des cultures impliquant des techniques de substitution, doivent partir sur de nouvelles bases et prôner une agriculture plus raisonnée. Une meilleure connaissance des impacts sur l'environnement des substances actives, l'utilisation de techniques de désherbages mécaniques plus écologiques, un aménagement du territoire respectueux des écoulements (bandes enherbées) sont des facteurs qui seront pris en compte par l'agriculteur dans ce climat actuel de changement des mentalités.

Si les O.G.M. apparaissent implicitement comme les sauveurs de cette agriculture en difficulté du point de vue des scientifiques, de nouvelles inquiétudes surgissent pour les protecteurs de l'Environnement concernant la dissipation de ces végétaux dans les écosystèmes.

Glossaire

Adventices : plantes introduites accidentellement à l'insu de l'homme au sens botanique, synonyme de *mauvaise herbe*.

Anticorps polyclonaux : inverse d'anticorps monoclonaux , préparations pures d'anticorps identiques qui possèdent une spécificité pour un seul antigène.

Assolement : alternance des cultures sur un terrain donné.

Binage : utilisation d'une binette, sorte de pioche à fer large et recourbée pour l'arrachement des mauvaises herbes.

Buttage : accumulation de terre aux pieds des plantes.

Chaumage : action de chaumer, récolter les chaumes.

Génie génétique : ensemble de techniques utilisées pour transférer des gènes d'un organisme à un autre ou pour modifier l'expression des gènes d'un organisme.

Hersage : passage d'une herse, instrument composé de rangées de dents pour l'arrachement des mauvaises herbes.

Immuno-enzymatiques : méthode basée sur une réaction antigène anticorps associée à une enzyme.

Post-levée : en grandes cultures, se dit de l'application d'un produit qui est réalisé après la levée des plantes cultivées ; en cultures pérennes ou en zone non agricole, se dit de l'application d'un produit qui est réalisée après la levée des mauvaises herbes.

Pré-levée : en grandes cultures, se dit de l'application d'un produit qui est réalisé avant la levée des plantes cultivées ; en cultures pérennes ou en zone non agricole, se dit de l'application d'un produit qui est réalisée avant la levée des mauvaises herbes.

Sarclage : désigne l'arrachement des mauvaises herbes.

Sélectif : se dit d'un herbicide agissant sur certains végétaux en particulier, contraire d'herbicide non sélectif ou total.

Substances actives : se dit de toute substance ou micro-organisme, y compris les virus, exerçant une action générale ou spécifique sur les organismes nuisibles ou sur les végétaux, parties de végétaux ou produits végétaux (directive 91/414/CEE).

Systémique : se dit d'un herbicide devant être véhiculé dans la plante pour agir. Le transfert peut se faire par la sève brute, des racines vers les feuilles (atrazine), par la sève élaborée (cas des hormones)...

Xénobiotiques : se dit d'une substance empêchant le développement d'êtres vivants.

Xylème : tissus conducteurs des végétaux, transportant l'eau et les minéraux des racines aux feuilles.

Bibliographie

Anonyme, 2000, Intérêts technique, écologique et financier des substituts à l'atrazine, au diuron et à l'isopruton, Office International de l'Eau, Limoges, 13 pages.

Anonyme, 1993, Programme d'action contre la pollution des eaux par les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles, Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates, les Phosphates et les Produits phytosanitaires provenant des activités agricoles (CORPEN), octobre 1993, 43 pages.

Anonyme, 1998, Le site de Fleury-les-Aubrais (Loiret) : mesurer l'évolution des concentrations d'herbicides dans le sol et évaluer le risque de transfert vers les eaux souterraines, GREPPES Région Centre, 1998, 2 pages.

Anonyme, 2002, Désherbage du maïs : concilier efficacité, économie et environnement, AGPM-TECHNIQUE n°290, Mars 2002, 2 pages.

Anonyme, 2000, Désherber en limitant les risques de pollution des eaux, Groupe PHYTOPRAT du CORPEN, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Mai 2000, 6 pages.

CLUZEAU S., 1999, Index phytosanitaire, ACTA (Association de Coordination Technique Agricole), 35^{ème} édition, 644 pages.

Colloque Phyt'Eau, 21-22 octobre 1992, , Recueil des communications écrites, organisé par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, le Ministère de l'Environnement, le Ministère de la Santé et de l'Action humanitaire, Palais des Congrès, Versailles, 169 pages :

- BAUDRAND M. (chambre d'agriculture de l'Isère), BELLEVILLE L. (DDASS Isère), 1992, Usage des produits phytosanitaires et qualité des eaux d'alimentation sur 6 captages publics de l'Isère, pages 1-5.
- MANSOTTE F., BOULIN S. (DDASS de la Marne), SAVART B. (DESS), 1992, Teneur en atrazine dans les eaux d'alimentation du département de la Marne, pages 7-12.
- MAUPAS D. (Agence de l'eau Loire-Bretagne), GILLET H. (DRAF Bretagne), 1992, Premier bilan de la contamination de quelques rivières de Bretagne par les produits phytosanitaires, pages 13-18.

- PORTAL J.M.. (CNRS), BABUT M. (Agence de l'eau Rhin-Meuse), SCHIAVON M. (ENSAIA), 1992, Etat de contamination des eaux du captage de Sainte Genevieve (54) par différents produits phytosanitaires, pages 19-24.
- DUROCHER J. et MAUPAS D. (Agence de l'eau Loire-Bretagne), 1992, Réseau National de Bassin : Mesure des Micropolluants dans le bassin Loire-Bretagne, pages 31-36.
- TASLI S., RAVANEL P., TISSUT M.. (Laboratoire de Physiologie Cellulaire Végétale) VACHAUD G. (LTHE, Institut de Mécanique de Grenoble), 1992, Les mouvements d'atrazine détectés par test immunoenzymatique : intérêts et limites de la méthode, pages 43-46.
- A.L.D.I.S. (Action Locale pour un Développement International Solidaire), 1992, Pesticides dans l'eau de consommation : promouvoir des méthodes moins polluantes, pages 69-73.
- CANN C., JONVEL S. (CEMAGREF de Rennes), Transfert de l'atrazine vers les eaux de surface en milieu rural, pages 75-79.
- HUART B., PAILLER F.M., TRIQUE B. (Laboratoire de Chimie Toxicologie Expertises, Paris), RICORDEL I. (Laboratoire de Microbiologie, Brest), 1992, Protocole d'étude de la diffusion d'un herbicide dans l'écosystème, pages 103-107.
- GRIVault G. (DRAF Bretagne), 1992, La CORPEP en Bretagne : un exemple de mobilisation régionale inter-ministérielle pour la protection de l'eau contre les pesticides, pages 127-130.
- VIDARD V. (CISE Ouest), MAGNIN J. (CISE DT), 1992, Efficacité de l'adsorption des pesticides par le charbon actif, pages 153-158.

DABENNE E., MARIE F., SMITH C., 1995, Substances actives phytosanitaires, Guide de lecture et recueil de fiches synthétiques : caractéristiques utiles pour l'évaluation du comportement de quelques substances actives dans l'environnement, Ministère de l'Agriculture, Direction de l'espace et de la forêt, Paris, 250 pages.

Etude Inter-agences n°52, 1997, Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau, SEQ eau : étude de rodage, Annexe A : grilles de seuil par altération, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 200 pages.

Etude Inter-agences n°54, 1997, La mesure des micropolluants dans le cadre du Réseau National de Bassin, Méthodologie et Recommandations, Agences de l'Eau, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Octobre 1997, 48 pages.

Etude Inter-agences n°59, 1998, Réglementation des produits phytosanitaires en Europe, Agences de l'Eau, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Février 1998, 52 pages.

GOLASZEWSKI G., 1997, Contamination des eaux douces superficielles par cinq produits phytosanitaires : Alachlore, Atrazine, Isoproturon, Lindane, Simazine, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Paris, 15 pages.

HUBER W., 1993, Ecotoxicological relevance of atrazine in aquatic systems, *Environ. Toxicol. Chem.* n° 12, pages 1865 – 1881.

Institut français de l'environnement, Mai 2002, L'Environnement en France, Editions La découverte, Paris et Orléans, 2002, 606 pages.

Institut français de l'environnement, 2000, Etude et travaux n°34, Les Pesticides dans les Eaux, Bilan des données 1998-1999, Juillet 2001, 118 pages.

MONTIEL A., 2001, Problèmes liés à la présence des pesticides dans les eaux, Agence de l'eau Adour Garonne, Journée technique du 2 avril 2001.

PEARSON N., CROSSLAND N.O., 1996, Measurements of community photosynthesis and respiration in outdoor artificial streams, *Chemosphere* n° 32, pages 913 – 919.

REAL B., MARREC J. et DANIEL H., 2000, Desherbage et qualité de l'eau, Techniques alternatives à l'atrazine, à l'isoproturon et au diuron, Etude réalisée par l'Institut Technique des Céréales et des Fourrages et S.C.E. (Stratégies, Conception, Etude) pour le compte des Agences de l'eau et du Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 150 exemplaires, Mai 2001, 130 pages.

SALOMON K.R. et al., 1996, Ecological risk assessment of atrazine in North American surface waters, *Environ. Toxicol. Chem.* n° 15, pages 31 – 76.

TOMLIN C., 1997, The pesticide manual, 11^{ème} édition, British Crop Protection Council, Farnham, GBR, Royal Society of Chemistry, Cambridge, GBR, 1606 pages.

VERSCHUEREN K., 1996, Handbook of Environmental data on organic chemicals, 3^{ème} édition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA, 2064 pages.

Table des matières

Introduction	p.5
---------------------	------------

I / Généralités sur l'atrazine	p.6
---------------------------------------	------------

I-1) Les pesticides	p.6
I-2) Les herbicides	p.7
I-3) Nomenclature de l'atrazine	p.7
I-4) Caractéristiques et propriétés chimiques	p.8
I-5) Origine et utilisation	p.9
I-6) Législation	p.9
I-6-a) Procédure d'homologation	p.9
I-6-b) Dose d'emploi	p.10
I-6-c) Normes de qualité des eaux	p.10
I-6-d) Recommandations	p.12
I-7) Méthodes de détection et traitements des eaux	p.12
I-7-a) La détection	p.12
I-7-b) Les traitements de potabilisation	p.13

II / Comportements dans les milieux	p.14
--	-------------

II-1) Origine des pollutions et transferts	p.14
II-1-a) Pollution ponctuelle	p.14
II-1-b) Pollution diffuse	p.15
II-2) Devenir dans les milieux	p.18
II-2-a) Comportements physico-chimiques dans l'eau et le sol	p.18
II-2-b) La biotransformation	p.19
II-3) Bilan	p.19

III / Effets biologiques et état des lieux en France	p.21
III-1) Incidence sur les organismes vivants	p.21
III-2) Etats des lieux	p.23
III-2-a) <i>Evolution des quantités vendues</i>	p.23
III-2-b) <i>Pics de pollution liés aux périodes de désherbage</i>	p.23
III-2-c) <i>Dans les eaux souterraines</i>	p.25
III-2-d) <i>Dans les eaux superficielles</i>	p.28
III-2-e) <i>Les zones estuariennes et côtières</i>	p.32
III-2-f) <i>Dans les eaux de pluies</i>	p.33
III-3) Relation avec l'occupation du sol et bilan	p.34
III-3-a) <i>Relation entre la SAU et la pollution en atrazine</i>	p.34
III-3-b) <i>Bilan</i>	p.35
 IV / Réflexions sur son interdiction et ses produits de substitution	 p.36
IV-1) Le contexte avant l'interdiction	p.36
IV-2) La procédure de retrait	p.36
IV-3) Les solutions de remplacement	p.38
IV-3-a) <i>Pratiques culturales</i>	p.38
IV-3-b) <i>Les molécules de substitution</i>	p.39
IV-3-c) <i>Bilan des principales techniques alternatives</i>	p.41
IV-3-d) <i>Les biopesticides</i>	p.42
IV-3-e) <i>L'organisation des programmes</i>	p.42
 Conclusion	 p.44

ANNEXE 1 :
Familles chimiques des
herbicides

(Office International de l'Eau)

ANNEXE 2 :
Journal Officiel
du 22 décembre 2001

ANNEXE 3 :
Principe du test ELISA
et exemple de dosage
immuno-enzymatique

ANNEXE 4 :
Les produits de
substitution à l'atrazine
(Agences de l'Eau)