



DIRECTION DÉPARTEMENTALE  
DES AFFAIRES SANITAIRES ET SOCIALES

PRÉFECTURE DU HAUT-RHIN

DOCUMENT

0174431L

DOCUMENT PUBLIC

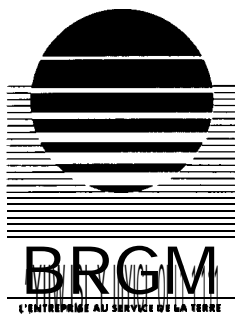
# *Devenir de phytosanitaires (en particulier les s-triazines) au-delà de la zone racinaire*

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 98-J-200

**Rédigé sous la responsabilité de**  
C. Mouvet et P. Elsass  
**avec la collaboration de**  
M.C. Dictor et N. Baran

décembre 1999

R 40928



## Synthèse

Les problèmes environnementaux **liés** aux phytosanitaires, utilisés à des fins agricoles ou non-agricoles, concernent essentiellement les eaux superficielles et souterraines. La présence de phytosanitaires dans les eaux destinées à la consommation constitue aujourd'hui un réel sujet de préoccupation d'autant que l'origine des teneurs observées est rarement bien comprise et que les évolutions probables sont actuellement impossibles à prédire.

La présente étude bibliographique, qui concerne uniquement les eaux souterraines, a été effectuée à la demande de la DDASS du Haut **Rhin** et rassemble un certain nombre d'études pour lesquelles le devenir (lessivage, **sorption/désorption**, dégradation) des phytosanitaires a été étudié au-delà de la zone racinaire, et si possible dans sa globalité (sol, zone racinaire, zone non saturée **-ZNS-** et zone saturée **-ZS-**), depuis l'application jusqu'aux eaux souterraines.

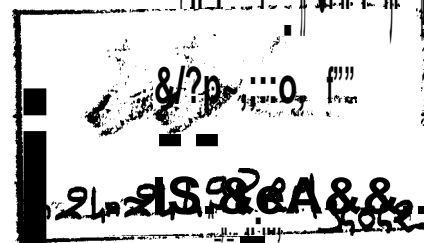
Les études de terrain qui ont suivi l'évolution des concentrations en phytosanitaires dans l'eau souterraine après modifications notables des signaux d'entrée (modifications des usages de phytosanitaires) montrent que les molécules utilisées auparavant, et notamment l'atrazine, continuent d'être détectées plusieurs années après l'arrêt des apports et ne montrent qu'une diminution lente des concentrations. La présence des produits de dégradation constitue un frein supplémentaire au retour rapide à une situation normale. L'amélioration de la situation ne peut donc être observée qu'après un temps de **latence** qui, dans certains systèmes naturels avec par exemple une ZNS importante, pourra dépasser la décennie. Les travaux de terrain montrent également que l'usage de produits de substitution peut entraîner l'apparition de nouveaux problèmes que les travaux de laboratoire ne sont pas toujours suffisants pour prévoir, notamment parce que certains mécanismes de transfert, comme les écoulements préférentiels, ne sont pas suffisamment pris en compte à l'échelle du laboratoire.

Ce rapport comporte également un bilan des connaissances sur les phénomènes de dégradation et de sorption au-delà de la zone racinaire. Bien que nettement plus limités que dans la zone racinaire, ces processus ne peuvent être ignorés dans la mesure où le temps de séjour des molécules dans la ZNS et la ZS est très supérieur à celui dans la zone racinaire. Les capacités de biodégradation et de rétention de la ZNS et la ZS varient énormément suivant les molécules. De la même manière, le processus **d'adsorption**, qui s'avère parfois partiellement irréversible, est étroitement lié aux molécules mais aussi au type de matériau aquifère.

D'une manière générale, ce rapport met en évidence le manque de données sur le devenir des phytosanitaires au-delà de la zone racinaire, alors que leur comportement dans ce compartiment a été très largement étudié.

•

# Sommaire



<b>Introduction</b> .....	11
<b>1. Evolution pluriannuelle des concentrations en phytosanitaires dans certains systèmes aquifères, parcelles drainées ou lysimètres</b> .....	13
1.1. Cas de la plaine d'Alsace .....	13
1.1.1. La situation pour les <b>captages</b> du Bas-Rhin .....	13
1.1.2. Captages du Haut-Rhin .....	18
1.1.3. Les variations saisonnières .....	18
1.1.4. Les résultats de l'inventaire de la qualité des eaux souterraines en 1997 .....	20
1.2. Cas d'étude dans les <b>Länder</b> riverains de l'Alsace .....	22
1.2.1. La situation au Bade-Wurtemberg .....	22
1.2.2. La situation en Rhénanie-Palatinat .....	25
1.2.3. Exemples d'évolution des teneurs en atrazine au Pays de Bade .....	28
<b>1.2.4.</b> Evolution de la contamination des eaux souterraines par un fongicide après interdiction d'utilisation dans le périmètre de protection .....	30
1.2.5. Evolution des concentrations en triazines à différentes profondeurs sur une période de 7 ans .....	32
1.3. Evolution des concentrations en atrazine dans des puits très superficiels de la nappe d'Alsace .....	34
<b>1.3.1.</b> Description générale du système et des conditions de suivi .....	34
1.3.2. Résultats .....	34
1.4. Le système aquifère de la Voulzie .....	35
1.4.1. Description générale du système et des conditions de suivi .....	35
1.4.2. Actions, recherches et résultats .....	35
<b>1.5.</b> Le système hydrogéologique des Trois-Fontaines (St Loup de Gonois, Loiret) .....	37
<b>1.5.1.</b> Description générale du système et conditions de suivi .....	37
1.5.2. Les résultats hydrologiques .....	43
1.5.3. <b>Résultats</b> relatifs à l' <b>atrazine</b> et ses produits de dégradation .....	45
1.5.4. Conclusion .....	45
1.6. Evolution des concentrations en herbicides d'origine urbaine <b>sur une</b> période de 5 ans .....	46

1.7. Les parcelles drainées de la ferme expérimentale de la Bouzule . . . . .	48
1.7.1. Description générale du système et des conditions de suivi..	48
1.7.2. Résultats..	48
<b>1.7.3.</b> Conclusion ..	50
1.8. Suivi pluriannuel du lessivage de la terbuthylazine en lysimètre après une seule application ..	50
<b>2. Dégradation des phytosanitaires à des profondeurs supérieures à la zone racinaire</b> .....	<b>53</b>
2.1. Rappels généraux.....	53
2.2. Facteurs physiques et chimiques du sous-sol influençant la biodégradation . . . . .	55
2.2.1. La température..	55
2.2.2. La texture du sol ..	55
2.2.3. L'oxygène.....	56
2.2.4. Le carbone organique ..	56
2.3. La microflore du sous-sol.....	56
2.4. Rappels sur les mécanismes de dégradation des phytosanitaires . . . . .	58
2.5. Influence de la profondeur sur la biodégradation en conditions aérobies . . . . .	60
2.5.1. Les s-triazines ..	60
2.5.2. Les triazinones ..	61
2.5.3. Les carbamates.....	61
2.5.4. Les acides phénoxyacétiques ..	63
2.5.5. Les acétamides..	64
2.6. Influence de la profondeur sur la biodégradation en conditions anaérobies . . . . .	64
2.6.1. Les s-triazines..	64
2.6.2. Les carbamates.....	65
2.6.3. Les acides phénoxyacétiques ..	65
<b>3. Sorption de phytosanitaires au-delà des horizons superficiels de sol . . . . .</b>	<b>69</b>
3.1. Solides de l'aquifère.....	69
3.2. Profils en profondeur depuis les horizons superficiels jusqu'aux matériaux d'aquifère.....	71

3.2.1. Travaux américains.....	71
3.2.2. Travaux français .....	73
3.2.3. Synthèse.....	80
i	
<b>4. La question des molécules de substitution.....</b>	<b>83</b>
4.1. Travaux de laboratoire.....	83
4.2. Travaux de terrain à l'échelle du système hydrogéologique.....	85
<b>5. Conclusion .....</b>	<b>87</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>89</b>

## Introduction

Parmi les nombreuses facettes que recouvre le **problème** de la contamination des eaux souterraines par les produits phytosanitaires, il en est une particulièrement peu étudiée, celle du devenir de ces produits au-delà de la zone racinaire. L'essentiel des travaux a en effet été mené sur la zone racinaire, dont le rôle dans les mécanismes de volatilisation, de dégradation physico-chimique et biologique, de prise par les plantes ou d'adsorption a été étudié dans des contextes pédo-climatiques très différents.

Toutefois, les principaux problèmes environnementaux associés aux phytosanitaires ne concernent pas la zone racinaire, mais bien les eaux superficielles ou souterraines (Mouvet, 1997). Cette prépondérance du compartiment eau dans la problématique du transfert des phytosanitaires résulte de deux caractéristiques, une liée aux différences fondamentales entre les compartiments sol et eau, l'autre liée à la différence de législations applicables à ces deux compartiments. En effet, si la structure et la richesse en microorganismes de la zone racinaire lui **confèrent** un fort potentiel d'atténuation des flux de phytosanitaires (Calvet, 1998), ce n'est pas le cas du compartiment eau (Landreau et *al.*, 1998). Par ailleurs, si une directive spécifique existe pour les teneurs maximales en phytosanitaires présents dans les eaux destinées à la consommation humaine (Anonyme, 1980), l'équivalent n'existe pas pour les sols. Enfin, la prépondérance de la recherche agronomique dans les problèmes de pollution diffuse d'origine agricole a également conduit à mettre l'accent plutôt sur le compartiment sol que sur le compartiment eau.

La présence de phytosanitaires (molécules mères et produits de dégradation) dans les eaux superficielles et souterraines (DRASS Centre, 1997 ; GREPPES, 1998 ; **IFEN**, 1998 ; **Legrand et al.**, 1991) est aujourd'hui un important sujet de préoccupation pour les gestionnaires des eaux souterraines. Dans la plupart des cas, ces constats sont difficilement reliables à des sources bien identifiées (apports diffus, apports ponctuels ?) et localisées (parcelles à risques, zones d'infiltration préférentielle ?).

Une des questions les plus importantes est celle de l'évolution probable des contaminations observées dans certains milieux si un changement radical de pratiques agricoles était mis en place (arrêt d'utilisation, substitution de molécules...). Malgré tous les travaux disponibles sur la zone racinaire, les actions à mettre en œuvre pour, **sinon** résorber, du moins arrêter la dégradation de la qualité des ressources en eau, sont **difficiles** à calibrer et à mettre en œuvre. Une des raisons du décalage actuel entre l'état **dés connaissances** et les besoins exprimés par les gestionnaires des milieux tient au fait que la plupart des approches scientifiques sur ce sujet ont été fragmentaires, alors que la réponse des **systèmes** naturels aux apports anthropiques est une réponse globale ; dans son parcours **vers** les nappes, l'eau ne distingue pas spécifiquement le sol de surface, la zone racinaire, la zone non-saturée profonde ou le milieu aquifère. Une meilleure connaissance\* des phénomènes dans leur globalité, ainsi qu'un renforcement des connaissances sur les milieux plus profonds que la zone racinaire **sont** donc nécessaires.

C'est dans cet objectif qu'a été réalisée la présente étude bibliographique à la demande de la DDASS du Haut-Rhin. L'accent a été mis sur les données en conditions naturelles disponibles au niveau national et international. Par ailleurs, pour répondre à la problématique la plus importante en Alsace, ce sont les travaux consacrés aux triazines qui ont été recherchés en priorité (le lecteur constatera plus loin que les travaux relatifs à d'autres molécules sont nettement plus rares). Enfin, le manque de document de synthèse sur le compartiment "eaux souterraines" étant encore plus évident que pour les eaux superficielles, c'est sur le seul volant "eau souterraine" que porte la présente étude.

Ce rapport comporte quatre grands volets.

Le premier traite des études globales où des suivis des eaux souterraines dans des milieux aquifères assez bien caractérisés ont permis d'étudier l'évolution de la situation sur plusieurs années, éventuellement après un changement radical du signal d'entrée. Vu le très faible nombre de données de ce type, des travaux relatifs aux eaux de drainage en milieu naturel et des résultats obtenus à partir de lysimètre de grande taille ont également été inclus.

Le deuxième volet s'adresse spécifiquement au phénomène de biodégradation dans les couches profondes du sol, la zone non saturée et les matériaux d'aquifère sous différentes conditions de milieu (oxydantes ou réductrices). Aucune donnée de terrain n'ayant été trouvée sur cet aspect important du devenir des phytosanitaires au-delà de la zone racinaire, seuls sont présentés les résultats d'études de laboratoire.

Le troisième volet est celui de l'adsorption sur des solides d'horizons plus profonds que les sols de la zone de labour classiquement étudiés. Ici aussi, il s'agit uniquement de travaux de laboratoire.

Le dernier volet concerne la question des molécules de substitution, avec des résultats de travaux de laboratoire et d'études de terrain à l'échelle du système hydrogéologique.

## 5. Conclusion

La présence de molécules phytosanitaires dans des eaux souterraines destinées à la consommation humaine est devenue une réalité qu'on ne peut nier. Même si les risques réels toxicologiques et écotoxicologiques de cette contamination sont encore mal connus, on ne peut toutefois rester inactif. Des actions curatives telles que des traitements de potabilisation par charbon actif ou ozone couplé à l'eau oxygénée existent ; ces traitements sont toutefois onéreux. Les acteurs concernés par la politique de l'eau sont donc désireux de mettre en place d'autres actions, curatives ou préventives.

C'est à ce titre que se placent des projets d'actions sur les modes et dates d'application, et sur le choix des molécules phytosanitaires, avec d'éventuelles substitutions de molécules. Cette politique part du principe qu'on peut actuellement prévoir l'évolution des concentrations en phytosanitaires dans les eaux souterraines et mettre sur pied des actions efficaces visant à en restaurer la qualité naturelle.

Les études utilisées dans ce rapport indiquent que, en dehors de systèmes karstiques de dimensions kilométriques (§ 1.5) ou de secteurs limités de grandes nappes alluviales (§ 1.1), plus de 5 ans sont nécessaires pour observer une modification significative des concentrations en phytosanitaires dans les eaux souterraines, même après l'arrêt complet de l'utilisation d'un phytosanitaire dans le bassin d'alimentation (§ 1.4). Aucun exemple validé de prévision de l'évolution des concentrations en phytosanitaires dans une nappe n'a été trouvé. Ceci résulte de la complexité des systèmes étudiés. En effet, suivant les caractéristiques (épaisseur, composition, modalités d'écoulement de l'eau) de la zone non saturée sous les horizons cultivés, les délais de transferts de l'eau à la nappe varient de quelques jours à quelques décennies. Par ailleurs, pour des solutés interactifs comme les phytosanitaires, les phénomènes de **sorption/désorption** et de biodégradation rendent encore plus complexes la quantification de leur temps de transfert vers et dans les nappes.

Les études de laboratoire à différentes échelles apportent des éléments de réponse sur le transfert des phytosanitaires au-delà de la zone racinaire. Elles montrent notamment que les compartiments ZNS et nappe elle-même possèdent des capacités de biodégradation (lente ; §2.5) et de rétention (faible ; §3) de certains phytosanitaires. Bien que beaucoup plus faibles que celles de la zone racinaire, ces capacités ne peuvent être totalement négligées vu qu'elles sont associées à des compartiments de taille et de temps de séjour bien supérieurs à ceux du compartiment zone racinaire. Il apparaît également que le comportement des produits de dégradation peut être très différent de celui des molécules mères (§ 3.2.2), que l'adsorption est très variable selon l'origine des solides (§ 3.1) et qu'elle n'est pas toujours totalement réversible (§ 3.2.2). La prévision des améliorations environnementales qu'apporterait le recours à des molécules de substitution se révèle difficile (§ 4).

A l'échelle du terrain, on manque de systèmes naturels dont les caractéristiques agronomique, pédologique et surtout hydrogéologique soient bien quantifiées, et pour



lesquels des chroniques sur les phytosanitaires dans tous les compartiments du système (détail des usages agricoles et non agricoles, teneurs dans les solides et les eaux du sol, de la zone non saturée **-ZNS-** au-delà de la zone racinaire, et de la nappe) soient disponibles.

Les données rassemblées dans ce rapport, **essentiellement** les longues durées nécessaires à la restauration de la qualité des nappes, suggèrent que les pratiques agricoles des dernières décennies ont pu entraîner la constitution d'un stock de phytosanitaires dans les sols et la ZNS au-delà de la zone racinaire, stock susceptible de maintenir une alimentation des nappes par des eaux contaminées en phytosanitaires. La durée de cette phase de "contamination à retardement" est actuellement très difficile à prévoir. D'une part parce que la **quantification** précise du fonctionnement hydrogéologique des systèmes concernés est rarement disponible. Par ailleurs, même si on dispose de chroniques climatiques anciennes, l'extrapolation aux futures conditions climatiques qui vont déterminer les conditions de réalimentation de la nappe ne peut être qu'une estimation de la réalité future.

Le temps de réponse des systèmes naturels aux éventuelles actions engagées sera donc long, d'une part à cause du temps nécessaire à convaincre les acteurs de la nécessité de la mise en œuvre de ces actions, d'autre part à cause des temps de transfert, souvent pluriannuels entre la surface des sols et les eaux souterraines. La chronique des concentrations en atrazine dans les eaux des sources des Trois Fontaines (§ 1.5) illustre bien la nécessité d'assurer des chroniques de suivi de débit de sources (ou des niveaux piézométriques) et des concentrations en phytosanitaires de suffisamment longue durée pour intégrer des épisodes climatiques contrastés, avec et sans réalimentation de la **nappe** ; des fluctuations climatiques non exceptionnelles pourraient en effet masquer l'effet des éventuelles modifications de pratiques agricoles.