

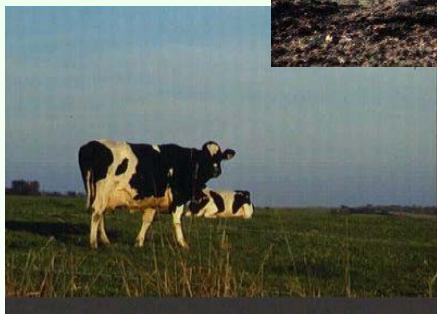


Université de Metz



**DESS « Gestion Intégrée des ressources en eaux continentales »**

## Indicateurs d'effet de la qualité du milieu



*Source photos : AERM*

Rapport de stage

**Réalisé par DECHEPPE Mathilde**

Encadrée par Claire RIOU, Fabien POTIER et Lionel LEGLIZE.

*Année universitaire 2001/2002*

*« Il y a des gens qui voient le monde tel qu'il est et qui se demandent pourquoi, il y en a d'autres qui voient le monde tel qu'ils voudraient qu'il soit et qui se disent pourquoi pas ».*

*Marc LEVY*

---

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur BOULNOIS, directeur de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse, et Messieurs WEINGERTNER et SALLERON, responsables de la Division Milieu Naturelles et Données Techniques, de m'avoir accueilli au sein de cette division et de m'avoir permis de réaliser mon stage de fin d'étude.

Un merci particulier à Claire RIOU et Fabien POTIER, mes maîtres de stage, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail, leur encadrement et leurs conseils.

Je tiens à remercier également Monsieur LEGLIZE pour avoir suivi mon stage en tant que tuteur universitaire.

Enfin, je remercie toutes les personnes avec qui j'ai eu l'occasion de travailler durant ce stage, en particulier Marc BENOIT de l'INRA de Mirecourt, Valérie ANTOINE du Lycée agricole de Courcelles-Chaussy, et toute l'équipe de la division milieu naturel pour son accueil chaleureux et sa bonne humeur.

## Résumé

La réduction des pollutions des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires d'origine agricole est un enjeu majeur sur le bassin Rhin-Meuse. Le suivi de la qualité des eaux superficielles et souterraines a permis de dresser un diagnostic de ses pollutions qui met en évidence de nombreux secteurs touchés.

Des actions, réglementaires, contractuelles ou volontaires, ont été mises en place pour modifier les pratiques agricoles afin de rendre l'agriculture moins polluante et plus respectueuse de l'environnement. Si les pratiques agricoles et la qualité de l'eau aux exutoires des bassins versants sont bien suivis, le milieu naturel reste une boîte noire dont l'évolution est lente. L'impact des actions est donc délicat à mettre en avant dans de nombreux cas.

Des dispositifs expérimentaux permettent d'avoir une approche du milieu intermédiaire en s'intéressant à d'autres compartiments comme la zone sous-racinaire, le ruissellement ou le drainage. Les bougies poreuses horizontales et les lysimètres sont adaptés au suivi des eaux de lixiviation et d'autres dispositifs permettent de suivre les eaux de ruissellement et les eaux de drainage. La mesure des concentrations et des volumes à ces différents niveaux permet d'établir un bilan complet des pertes sans attendre l'arrivée à l'exutoire.

Malgré des incertitudes persistantes sur la fiabilité des résultats, les indicateurs d'effet obtenus permettent d'évaluer l'efficacité des actions sur le terrain et d'aller plus loin dans le suivi des actions.

*Mots-clés : nitrates – produits phytosanitaires – pollution – action de reconquête du milieu – évaluation – dispositif de mesure – indicateurs d'effet.*

## Abstract

The reduction of the water pollutions by nitrates and phytosanitaires products of agricultural origin is a major stake on the pond Rhin - Meuse. The follow-up of the quality of superficial and subterranean waters allowed to raise a diagnosis of its pollutions which puts in evidence of numerous touched sectors.

Actions, statutory, contractual or voluntary, were organized to modify the agricultural practices to return the less polluting and more respectful agriculture of the environment. If the agricultural practices and the quality of the water in the releases of ponds hillsides are followed well, the natural environment rest a black box the evolution of which is slow. The impact of the actions is thus delicate to advance in numerous cases.

Experimental devices allow to have an approach of the intermediate environment by being interested in the other compartments as the zone under - roots, the streaming or the drainage. The horizontal porous candles and the « lysimetres » are adapted to the follow-up of waters of lixiviation and the other devices allow to follow waters of streaming and waters of drainage. The measure of the concentrations and the volumes at these various levels allows to establish a complete balance of the losses without waiting for the arrival to the release.

In spite of persevering uncertainties on reliabilities of the results, the indicators of obtained effect allow to estimate the efficiency of the actions on the ground and to go farther to the follow-up of the actions.

*Keywords: nitrates - phytosanitaires products - pollution - action of reconquest of the environment - evaluation - device of measure - indicators of effect.*

## Table des matières

<i>Remerciements</i> .....	<i>1</i>
<i>Résumé/Abstract</i> .....	<i>2</i>
<i>Table des matières</i> .....	<i>3</i>
<i>Liste des tableaux</i> .....	<i>5</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>6</i>
<b>1 Pollution des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires sur le bassin Rhin-Meuse</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1 Mode de pollution des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires</b> .....	<b>8</b>
1.1.1 Origine et devenir des nitrates.....	8
1.1.2 Origine et devenir des produits phytosanitaires .....	10
<b>1.2 Impact des pollutions par les nitrates et les produits phytosanitaires</b> .....	<b>13</b>
1.2.1 Impact des pollutions par les nitrates .....	13
1.2.2 Impact des pollutions par les produits phytosanitaires.....	13
<b>1.3 Etat des lieux sur le bassin Rhin-Meuse</b> .....	<b>14</b>
1.3.1 Diagnostic sur les nitrates .....	14
1.3.2 Pollutions par les produits phytosanitaires .....	15
<b>1.4 Les différences entre azote et produits phytosanitaires</b> .....	<b>17</b>
<b>2 Les actions de reconquête du milieu et leur suivi</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Actions engagées pour limiter la pollution par les nitrates</b> .....	<b>19</b>
2.1.1 Mesures réglementaires contre les pollutions d'origine agricole .....	19
2.1.2 Mesures contractuelles .....	20
2.1.3 Les actions volontaires.....	21
2.1.4 Mesures particulières aux captages d'eau potable.....	22
<b>2.2 Les actions mises en place pour limiter la pollution par les produits phytosanitaires</b> ...	<b>23</b>
2.2.1 Mesures réglementaires.....	23
2.2.2 Mesures contractuelles et volontaires.....	24
2.2.3 Mesures particulières aux captages d'eau potable.....	25
<b>2.3 Les systèmes d'évaluation mis en place</b> .....	<b>28</b>
2.3.1 Suivi de la Directive Nitrate.....	28
2.3.2 Suivi du PMPOA.....	28
2.3.3 Suivi des opérations Ferti-Mieux .....	29
2.3.4 Suivi des périmètres de protection .....	31
<b>3 Dispositifs de mesure des indicateurs d'effets possibles</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1 Principes</b> .....	<b>34</b>
3.1.1 Objectifs des indicateurs d'effet.....	34
3.1.2 Caractéristiques et données nécessaires en vue d'un suivi des actions .....	36
<b>3.2 Dispositif de suivi des eaux de ruissellement (Annexe 10)</b> .....	<b>37</b>
3.2.1 Principe et dispositif.....	37
3.2.2 Mise en œuvre et fonctionnement .....	37
3.2.3 Représentativité des prélèvements .....	38
3.2.4 Variables mesurées et exploitation.....	38
3.2.5 Conditions de mise en place.....	38

<b>3.3</b>	<b>Les prélèvements de sol (<i>Annexe 11</i>)</b>	<b>40</b>
3.3.1	Principe et dispositif	40
3.3.2	Mise en œuvre	40
3.3.3	Représentativité des prélèvements	40
3.3.4	Variables mesurées et exploitation	41
3.3.5	Conditions de mise en place	41
<b>3.4</b>	<b>Dispositif de suivi des eaux de drainage (<i>Annexe 12</i>)</b>	<b>42</b>
3.4.1	Principe et dispositif	42
3.4.2	Mise en œuvre et fonctionnement	42
3.4.3	Représentativité des prélèvements	43
3.4.4	Variables mesurées et exploitation	43
3.4.5	Conditions de mise en place	44
<b>3.5</b>	<b>Les lysimètres (<i>Annexe 13</i>)</b>	<b>45</b>
3.5.1	Principe et dispositif	45
3.5.2	Mise en œuvre et fonctionnement	46
3.5.3	Représentativité des prélèvements	46
3.5.4	Variables mesurées et exploitation	47
3.5.5	Conditions de mise en place	47
<b>3.6</b>	<b>Les bougies poreuses (<i>Annexe 14</i>)</b>	<b>48</b>
3.6.1	Principe et dispositif	48
3.6.2	Mise en œuvre et fonctionnement	49
3.6.3	Représentativité des prélèvements	49
3.6.4	Variables mesurées et exploitation	50
3.6.5	Conditions de mise en place	50
<b>3.7</b>	<b>Comparaison des dispositifs</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b><i>Discussion</i></b>	<b>55</b>
4.1	A propos des actions et de leur suivi	55
4.2	A propos des attentes de l'agence de l'eau Rhin-Meuse	55
4.3	A propos des moyens de suivi « intermédiaires »	56
	<b><i>CONCLUSION</i></b>	<b>58</b>
	<b><i>Bibliographie</i></b>	<b>59</b>
	<b><i>Liste des annexes</i></b>	<b>61</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Principales différences entre les nitrates et les produits phytosanitaires .....	17
Tableau 2 : Tableau récapitulatif des mesures contre les pollutions d'origines agricoles et leurs principales caractéristiques .....	27
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des méthodes de suivi des actions de reconquête du milieu	32
Tableau 4 : Caractéristiques recherchées des méthodes et des indicateurs d'effet associés ....	36
Tableau 5 : Mise en œuvre et fonctionnement des dispositifs de suivi des eaux de ruissellement.....	37
Tableau 6 : Représentativité des prélèvements issus des dispositifs de suivi des eaux de ruissellement.....	38
Tableau 7 : Variables mesurées par les dispositifs de suivi des eaux de ruissellement et leur exploitation .....	38
Tableau 8 : Mise en œuvre des prélèvements de sol .....	40
Tableau 9 : Représentativité des prélèvements de sol.....	40
Tableau 10 : Variables mesurées par les prélèvements de sol et leur exploitation .....	41
Tableau 11 : Mise en œuvre et fonctionnement d'un suivi des eaux de drainage.....	42
Tableau 12 : Représentativité des prélèvements des eaux de drainage.....	43
Tableau 13 : Variables mesurées par un suivi des eaux de drainage et leur exploitation .....	43
Tableau 14 : Mise en œuvre et fonctionnement des lysimètres .....	46
Tableau 15 : Représentativité de prélèvements par lysimètres .....	46
Tableau 16 : Variables mesurées par les lysimètres et leur exploitation .....	47
Tableau 17 : Mise en œuvre et fonctionnement des bougies poreuses .....	49
Tableau 18 : Représentativité des prélèvements par bougies poreuses.....	49
Tableau 19 : Variables mesurées par les bougies poreuses et leur exploitation .....	50
Tableau 20 : Dispositifs et types d'eau suivie.....	52
Tableau 21 : Comparaison des dispositifs.....	52
Tableau 22 : Dispositifs de mesure et indicateurs d'effet obtenus.....	52

## Liste des figures

Figure 1 : Inventaires des causes de pollutions accidentelles par les produits.....	11
Figure 2 : Les principaux modes de pollutions des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires .....	12
Figure 3 : Répartition des stations RBES en classes de qualité .....	16
Figure 4 : Actions mises en place pour lutter contre les pollutions par les nitrates .....	23
Figure 5 : Actions mises en place pour limiter la pollution par les produits phytosanitaires ..	25
Figure 6 : Actions mises en place pour lutter contre la pollution par les produits phytosanitaires .....	26
Figure 7: Méthode d'évaluation des opérations Ferti-Mieux.....	30
Figure 8 : Les données connues et inconnues depuis l'utilisation d'une substance jusqu'à la ressource en eau .....	32
Figure 9 : Objectifs et données nécessaires.....	35
Figure 10 : Choix du dispositif en fonction de la zone d'étude.....	53



## INTRODUCTION

La préservation et l'amélioration de la qualité de l'eau s'avèrent des enjeux majeurs du 21<sup>ème</sup> siècle pour la communauté européenne. En effet, par l'adoption de la Directive Cadre Européenne le 23 octobre 2000, tous les cours d'eau des états membres doivent atteindre le bon état écologique en 2015. Cette pression réglementaire oblige à la mise en place de diagnostic et d'actions pour répondre à cette obligation.

Les principaux facteurs déclassants sont, dans de nombreuses situations, les nitrates et les produits phytosanitaires, essentiellement d'origine agricole. De nombreuses actions ont été mises en place pour limiter ces pollutions et améliorer les pratiques. Si certaines actions montrent des signes d'amélioration de la qualité de l'eau à l'exutoire de leur bassin versant, d'autres ne semblent pas avoir d'impact même au bout de plusieurs années. Cela peut remettre en cause leur efficacité et leur utilité. Le temps de latence agronomique et hydrogéologique du milieu expliquent cette inertie par rapport aux changements de pratiques qui, eux-mêmes, ne sont pas immédiats. L'évaluation de l'efficacité des actions sur de courte période est donc délicate.

C'est pourquoi l'agence de l'eau Rhin-Meuse (**Annexe 1**), en tant que partenaire technique et financier de ces actions, souhaiterait mettre en place un moyen de suivi approprié qui permettrait d'obtenir des résultats fiables et rapides de l'impact des modifications de pratiques sur la qualité des eaux. Un certain nombre de dispositifs expérimentaux pourraient permettre d'obtenir des indicateurs d'effet répondant à cet objectif.

Après avoir réalisé un état des lieux de la pollution des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires sur le bassin Rhin-Meuse, les actions de reconquête du milieu mises en place et leur méthode de suivi sont détaillées. Enfin, les différents dispositifs de mesures retenus sont analysés et comparés afin d'évaluer leur pertinence pour le suivi des actions mises en place.

# 1 Pollution des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires sur le bassin Rhin-Meuse

Bien que connus depuis longtemps, les nitrates restent encore un facteur dégradant de la qualité des eaux superficielles et souterraines en de nombreux points. L'inquiétude par rapport aux produits phytosanitaires est plus récente mais les constats sont déjà alarmants. Ceci explique l'intérêt, toujours grandissant, porté à ces substances pour préserver la ressource en eau et garantir sa qualité. Pour cela il est nécessaire de connaître leur origine et leur évolution, leur impact sur la santé humaine et le milieu naturel de même que la situation actuelle sur le bassin Rhin-Meuse. C'est ce qui va être traité dans une première partie pour aboutir à la mise en évidence des principales différences entre ces deux types de polluants.

## 1.1 Mode de pollution des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires

### 1.1.1 Origine et devenir des nitrates

#### ◆ *Origine*

Les nitrates ont deux origines distinctes. D'une part, ils sont présents naturellement dans le milieu naturel et d'autre part, ils sont apportés en grande quantité par les activités humaines aussi bien agricoles que non agricoles.

- Origine naturelle

L'azote fait partie des cycles biogéochimiques naturels, il est présent dans le milieu sans aucune intervention humaine. L'azote se minéralise spontanément sous l'action des micro-organismes du sol, à partir des matières organiques qui s'y trouvent, elles-mêmes originaires, pour l'essentiel, des végétaux cultivés ou non. L'azote fait partie de la constitution des plantes, elles ont besoin d'azote car il joue des rôles essentiels pour leur croissance et leur reproduction.

- Origine anthropique

#### **Activité agricole**

Lorsque les fournitures du sol sont insuffisantes vis-à-vis des besoins des cultures pour atteindre les objectifs de production, il faut les compléter par des apports d'engrais. Ceci explique les pratiques de fertilisation des agriculteurs.

La production en grandes cultures engendre ainsi une pollution diffuse qui dépend de deux facteurs principaux :

- l'occupation des sols (assolement, cultures, forêts et prairies) c'est à dire le type de culture mis en place qui engendre une pollution intrinsèque indépendante des pratiques agricoles proprement dites. La connaissance de l'occupation du sol est un élément indispensable pour évaluer les risques de pollution sur un secteur donné.
- la conduite des cultures en place c'est à dire l'utilisation d'engrais azotés d'origine minérale ou animale dans les zones d'agriculture intensive, l'irrigation ainsi que le retournement des prairies qui expliquent, en majeure partie, les fortes concentrations en nitrates des eaux superficielles et souterraines. Le recouvrement des zones de cultures intensives et des zones fortement contaminées est très net.

Si les nitrates sont appliqués en trop grande quantité ou au mauvais moment, les excès non absorbés par les plantes se retrouvent dans le milieu naturel. Les pratiques à risques se définissent donc par rapport aux types de cultures et aux pratiques de gestion de l'azote mises en place.

L'élevage est également une source de pollution importante. Il engendre des pollutions d'azote organique plus ponctuelles sur les aires de stockage et lors de leur manipulation.

#### ◆ *Devenir*

Une fois dans le milieu naturel, les nitrates peuvent être transférés vers les eaux superficielles et souterraines. La pluie est le vecteur principal de transfert des nitrates d'un compartiment vers un autre. Le climat influence donc fortement les pertes en nitrates.

- Vers les eaux superficielles

Les nitrates peuvent être entraînés vers les eaux superficielles soit par ruissellement, soit par le biais des réseaux de drainage. Il permet la diminution du temps de ressuyage par un transfert rapide des eaux en excès de l'horizon cultivé vers un réseau de tuyaux enterrés situés en profondeur. L'exutoire est généralement un fossé qui ira rejoindre ruisseaux et rivières. Ces deux phénomènes engendrent des pollutions diffuses des eaux de surface.

- Vers les eaux souterraines

Le stock d'azote restant dans le sol après la récolte est potentiellement lessivable c'est à dire susceptible d'être entraîné en profondeur vers les eaux souterraines par les eaux de lixiviation. Ce risque est accru pendant la période hivernale où les excès d'eau sont les plus importants et où le sol est peu ou pas couvert par la végétation. Une pollution diffuse des aquifères est observable au niveau des sources qui en sont issues et qui rejoignent ensuite les eaux de surface. Des prélèvements dans les piézomètres permettent également de suivre la pollution.

### **Activités non agricoles**

Les nitrates ont également une origine non agricole :

- Les rejets domestiques qui provoquent une pollution ponctuelle des eaux superficielles, riche en ammonium ;
- Les rejets industriels qui peuvent être très concentrés ;
- Les rejets de station d'épuration où 50% de l'azote est épuré, le reste retourne au milieu naturel ;
- Les dépôts atmosphériques constituent une autre source de pollution azotée car ils se déposent sur le sol sous forme solide ou liquide.

## 1.1.2 Origine et devenir des produits phytosanitaires

### ◆ *Origine*

Signe manifeste d'une activité humaine et utilisés dans de nombreux secteurs d'activités, les produits phytosanitaires ont une origine exclusivement anthropique. Ils sont utilisés en agriculture mais également dans des activités non agricoles.

#### **Activité agricole**

Les produits phytosanitaires issus de l'industrie ne se trouvent pas spontanément dans la composition des végétaux et, dans leur grande majorité, ne sont pas des substances naturelles. Les plantes n'en ont pas besoin pour croître. On les utilise pour lutter contre les " ennemis " des cultures, mauvaises herbes, champignons, insectes, etc. La présence de ces " ennemis " nuit, en effet, à la production des cultures s'ils sont trop abondants ou interviennent à un moment défavorable. L'usage des produits phytosanitaires ne vise donc pas à couvrir des besoins de la culture mais à maintenir un niveau de production donné en contrôlant des facteurs limitant. La notion d'équilibre entre des besoins et des apports n'existe pas [SEBILLOTTE, 1999].

#### **Activités non agricoles**

Les produits phytosanitaires sont également utilisés par les communes, les administrations et les particuliers (jardinage). La pollution d'origine non agricole peut être ponctuelle ou diffuse. Elle est liée à l'utilisation des produits phytosanitaires contre les mauvaises herbes dans les zones non cultivées (zones industrielles, parking, voies ferroviaires, espaces verts, jardins familiaux). Les surdosages dans des zones non agricoles sont fréquents.

Il existe également une pollution diffuse provenant des dépôts atmosphériques d'origines agricoles et non agricoles et des pertes par ruissellement sur les surfaces imperméabilisées.

### ◆ *Devenir*

Leur transfert vers les eaux dépend des saisons et des modalités d'utilisation, de leur solubilité dans l'eau, de leur dégradabilité, des conditions climatiques et des caractéristiques des sols.

Dès que le pesticide atteint le sol, il se distribue dans les trois phases : solide, liquide et vapeur. C'est cette répartition qui conditionne alors son comportement et sa dispersion dans l'environnement. Elle est le résultat d'un équilibre entre des phénomènes d'adsorption, de désorption et de volatilisation, équilibre instable dans le temps. Les pesticides fixés sur la fraction solide peuvent repasser en solution, au moins partiellement. Ceux en solution peuvent être entraînés avec les mouvements de l'eau (lessivage et ruissellement), et/ou être dégradés par les organismes du sol [INRA, 1998].

- Vers les eaux superficielles

La pollution des eaux superficielles par les produits phytosanitaires peut être due à leur transfert par ruissellement ou par infiltration jusqu'au réseau de drainage (pollution diffuse) et à des pertes accidentelles lors de la manipulation (pollutions ponctuelles).

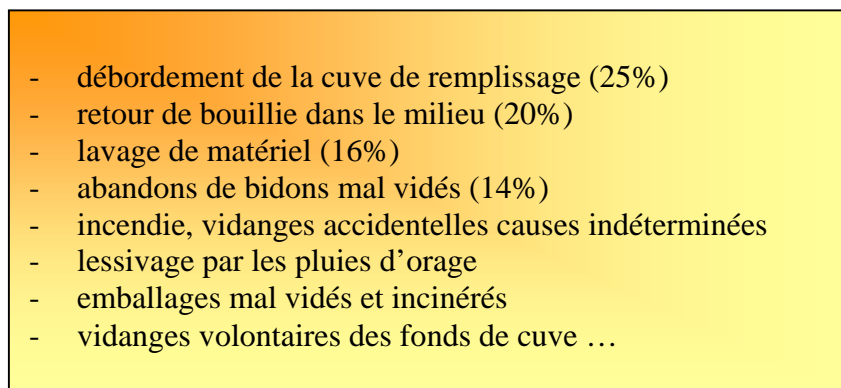
Le ruissellement peut entraîner les produits phytosanitaires sous plusieurs formes : soit dissous dans l'eau, soit en émulsion ou soit fixés sur les particules du sol et sur les colloïdes du sol qui forment dans l'eau des matières en suspension. Il affecte les eaux superficielles essentiellement au moment où les traitements sont les plus pratiqués (printemps, été, automne) et se traduit par des pics de teneur dans les eaux, en particulier lors d'épisodes pluvieux après le traitement.

Par contre en automne-hiver, lorsque le ruissellement est intense, les teneurs en produits phytosanitaires sont généralement très faibles, du fait d'un effet de dilution et d'éloignement de la date d'application. L'institut technique des céréales et des fourrages (ITCF) a montré que ces écoulements correspondent à moins de 1% des quantités appliquées.

Les réseaux de drainage entraînent une quantité importante de produits phytosanitaires vers les eaux superficielles. En Lorraine, les périodes de drainage ont lieu généralement d'octobre à avril. Pour l'atrazine, les expérimentations réalisées au lycée de Courcelle Chaussy ont montré que les pertes varient généralement de 0.3% à 1% de la dose appliquée. Ces chiffres sont en accord avec ceux que l'on rencontre dans la bibliographie au niveau national.

Les erreurs, les accidents de manipulation ou encore la maîtrise insuffisante de la gestion des emballages ou des reliquats de produits engendre la majorité des pollutions accidentelles d'origine agricole (**Figure 1**).

*Figure 1 : Inventaires des causes de pollutions accidentelles par les produits Phytosanitaires en Lorraine*



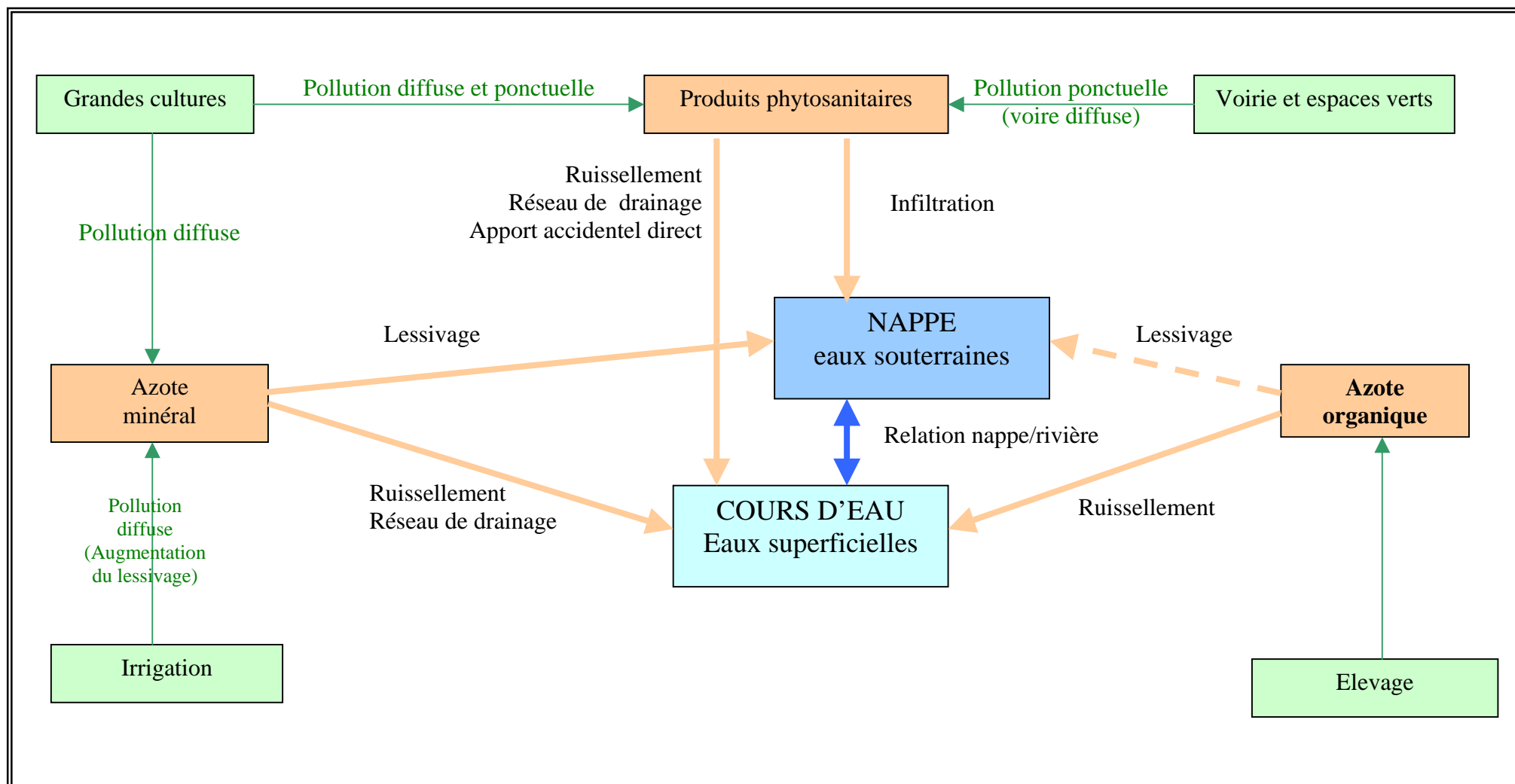
*Source : [AREL, 2001]*

- Vers les eaux souterraines

La pollution des eaux souterraines a pour origine le transfert des produits phytosanitaires par infiltration lors de l'épandage (pollution diffuse). Il peut y avoir également contamination lors de remplissage et vidange des pulvérisateurs au champ. Les quantités exportées par infiltration sont généralement de l'ordre de 0.5 à 2% des quantités mises en œuvre [ITCF].

**La figure 2 résume les principaux modes de pollutions des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires.**

Figure 2 : Les principaux modes de pollutions des eaux par les nitrates et les produits phytosanitaires



## 1.2 Impact des pollutions par les nitrates et les produits phytosanitaires

### 1.2.1 Impact des pollutions par les nitrates

L'impact de la pollution par les nitrates peut être envisagé à deux niveaux : celui sur la santé et celui sur l'environnement.

#### ◆ *Impact sur la santé humaine*

Le 3 janvier 1989, le décret n°89-3 a fixé, pour les nitrates, un niveau guide de 25 mg/l et une limite de potabilité à 50 mg/l dans les eaux de consommation. Il a été réactualisé par le décret du 20 décembre 2001 n° 2001/1220. Ces valeurs ont été fixées selon les risques encourus par la population la plus vulnérable (les nourrissons et les femmes enceintes). En effet, les nitrates en taux excessif peuvent être considérés comme dangereux pour la santé humaine, ses effets sur la santé étant liés à la transformation des nitrates en nitrites et éventuellement en nitrosamines au niveau du tube digestif. Chez l'homme, les nitrites engendrent des risques de méthémoglobinémie aiguë qui s'observe principalement chez le nourrisson. Les risques liés à la formation de nitrosamines, à savoir l'apparition de cancers, sont actuellement moins bien établis. En ce qui concerne les animaux, l'excès de nitrates peut entraîner une intoxication qui se traduit par des difficultés à respirer, une faiblesse généralisée et la coloration brune du sang [MANSARD, 2000].

La pollution des captages d'eau potables peut entraîner jusqu'à un arrêt du pompage et la recherche d'autre point d'alimentation en eau entraînant un déplacement des forages pour retrouver une eau de bonne qualité, le raccordement à un réseau voisin ou le traitement de l'eau. Cela se traduit par un surcoût pour les collectivités et une augmentation du prix de l'eau pour les consommateurs.

#### ◆ *Impact sur le milieu naturel*

L'enrichissement des eaux en substances nutritives comme l'azote, entraîne l'eutrophisation du milieu qui se traduit par une croissance anarchique d'algues et de plantes aquatiques. Celle-ci consommant énormément d'oxygène, nuisent à la survie des autres espèces. Ce phénomène peut engendrer le ralentissement et la mort de la vie aquatique.

### 1.2.2 Impact des pollutions par les produits phytosanitaires

La détection de plus en plus fréquente de produits phytosanitaires dans les captages présente également des risques pour l'homme et l'environnement.

#### ◆ *Impact sur la santé humaine*

Outre les risques de toxicité aiguë touchant principalement les utilisateurs lors de la manipulation, une exposition prolongée même à faibles doses peut entraîner des effets cancérigènes ou mutagènes. La présence de ces substances dans l'eau potable est donc à proscrire. Le décret du 20 décembre 2001 fixe également les quantités maximales admissibles de pesticides et produits apparentés qui peuvent être retrouvés dans les eaux destinées à la consommation humaine :

**0.5 µg/l pour le total des substances**  
**0.1 µg/l par substances individualisées**  
**0.03 µg/l pour l'aldrine et la dieldrine**  
**0.01 µg/l pour l'heptachlore.**

◆ *Impact sur le milieu naturel*

La présence de produits phytosanitaires dans les cours d'eau est également de nature à compromettre la potentialité de l'eau à héberger des populations animales ou végétales suffisamment diversifiées et nombreuses pour que la rivière puisse assurer ses fonctions biologiques (auto épuration, biodiversité) [DIREN Lorraine, 2000].

**L'excès de nitrates et la présence de produits phytosanitaires dans les eaux de consommation et dans le milieu naturel n'est donc pas sans conséquences. C'est pourquoi un suivi de ces substances a été réalisé permettant de faire un état des lieux de ces pollutions sur le bassin Rhin-meuse.**

### 1.3 Etat des lieux sur le bassin Rhin-Meuse

Sur le bassin Rhin-Meuse, les eaux superficielles sont suivies depuis les années 1970 par le réseau national de bassin RNB (**Annexe 2a**) qui compte 306 stations, associé localement à des réseaux complémentaires ayant la même finalité. De nombreux paramètres physico-chimiques sont mesurés régulièrement dont les nitrates et plus récemment les produits phytosanitaires (36 stations en 1997 avec 17 à 25 substances recherchés régulièrement 1 fois par mois). Les données sont ensuite analysées grâce au système d'évaluation de la qualité des eaux : le SEQ-eau afin d'établir l'état patrimonial de la ressource vis-à-vis des différents usages (**Annexe 2c**).

Les eaux souterraines sont suivies depuis 1999 par le réseau de bassin des eaux souterraines RBES (**Annexe 2b**) composé de 185 stations réparties sur l'ensemble du bassin Rhin-Meuse. Les nitrates et les composés azotés (ammonium, azote Kjeldah, nitrites) ont été régulièrement mesurés dans les différents aquifères de même qu'un certain nombre de produits phytosanitaires : les triazines, les urées substituées, les composés organochlorés et les composés organophosphorés. Comme pour les eaux de surface, un système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines a été utilisé pour l'analyse des données.

Ces importantes bases de données permettent d'établir l'état des lieux actuel sur l'ensemble du bassin Rhin-Meuse vis à vis des nitrates et des produits phytosanitaires pour les eaux superficielles et souterraines.

#### 1.3.1 Diagnostic sur les nitrates

Les nitrates sont présents sur l'ensemble du bassin Rhin-Meuse aussi bien dans les eaux superficielles que souterraines. Le constat est le même : une augmentation des concentrations en nitrates qui dépasse fréquemment la norme européenne de potabilité fixée à 50 mg/l.



### ➤ Les eaux superficielles

En Lorraine, la pollution par les nitrates est assez importante sur les bassins de la Meuse, de la Chiers, de la Nied et des principaux affluents de la Moselle (**Annexe 3**). L'évolution depuis 1987 montre une dégradation progressive stoppée de manière nette en 1999. Cette tendance est à confirmer par les résultats des années ultérieures. L'Est de la Lorraine semble moins touché par les nitrates avec une majorité de stations de bonne qualité. A l'Ouest la situation est plus critique avec une majorité de stations dépassant le niveau guide de 25 mg/l [DIREN Lorraine, 2000].

En Alsace, 48% des stations présentent une pollution notable vis à vis des nitrates dont 9% dépassent le niveau guide de 25 mg/l. On observe une dégradation de la qualité de l'eau dans les bassins versants à dominante agricole comme le Thalbach, la Zembs, la Souffel, le Landgraben et le Seltzbach. A l'inverse les teneurs restent inférieures à 10 mg/l pour le Rhin et les cours d'eaux vosgiens [DIREN Alsace, 2000].

### ➤ Les eaux souterraines

Les nitrates sont présents dans l'ensemble du bassin avec une concentration moyenne de 16,9 mg/l NO<sub>3</sub> ( de 0 à 102,7 mg/l NO<sub>3</sub>). Près de 30% des stations dépassent le niveau guide de 25 mg/l NO<sub>3</sub> et la limite de potabilité est dépassée par 5,4 % des stations (**Annexe 3**).

La contamination par les nitrates touche principalement les alluvions de la plaine d'Alsace mais également les réservoirs karstiques du Dogger et de l'Oxfordien [GOUJON A.L., LAPUYADE F, 2001].

## 1.3.2 Pollutions par les produits phytosanitaires

Comme les nitrates, les produits phytosanitaires touchent aussi bien les eaux superficielles que souterraines.

### ➤ Les eaux superficielles

Vingt-neuf substances sont retrouvées plus ou moins fréquemment dans les eaux superficielles du bassin. Parmi ces substances l'**atrazine (Annexe 4a)** arrive en tête avec un taux de détection dans les prélèvements de 64 % entre 1997 et 2000. La concentration moyenne est de 0.37 µg/l mais elle peut monter jusqu'à 10 µg/l. Ensuite, arrive le **diuron (Annexe 4b)** avec un taux de détection de 35%. Sa teneur moyenne est de 0.28 µg/l mais elle peut monter à 9 µg/l. L'**isoproturon (Annexe 4c)** est le quatrième produit phytosanitaire le plus souvent détecté (27%). Le **lindane**, quoique interdit depuis 1998, se retrouve encore dans 20% des prélèvements. Excepté le lindane qui est un insecticide, toutes les substances retrouvées sont des herbicides.

La quasi-totalité des cours d'eau est touchée par au moins un pesticide (**Annexe 5**). Plusieurs points critiques se distinguent : La Souffel à Mundolsheim en Alsace et la Seille, la Nied, l'Orne, le Madon, le Rupt de Mad et la Moselle en Lorraine. Globalement sur le Bassin il est retrouvé un peu moins souvent de substances actives en 2000 que les années précédentes [RIOU, 2002].

➤ Dans les **eaux souterraines**

De manière générale, dans les aquifères calcaires fissurés, voire karstifiés où la vulnérabilité est accrue par une circulation rapide de l'eau comme les calcaires du Dogger et de l'Oxfordien, le principal problème est constitué par les pics d'atrazine et de déséthylatrazine. Plus de 60% des stations détectent ainsi une atrazine mais pas à chaque prélèvement ce qui montre d'une part le caractère généralisé de la pollution liée à des apports diffus et d'autre part la variabilité liée au fonctionnement rapide de l'aquifère, réagissant rapidement aux précipitations [GOUJON A.L., LAPUYADE F, 2001].

En ce qui concerne les aquifères alluviaux, la nappe d'Alsace est la plus touchée avec plus de 60 % des mesures positives en atrazine et déséthylatrazine. Les stations captant les alluvions de la Meuse sont également fortement contaminées.

Les aquifères gréseux bénéficient dans le bassin Rhin-Meuse de conditions naturelles favorables qui les protègent des pollutions et garantissent sa qualité.

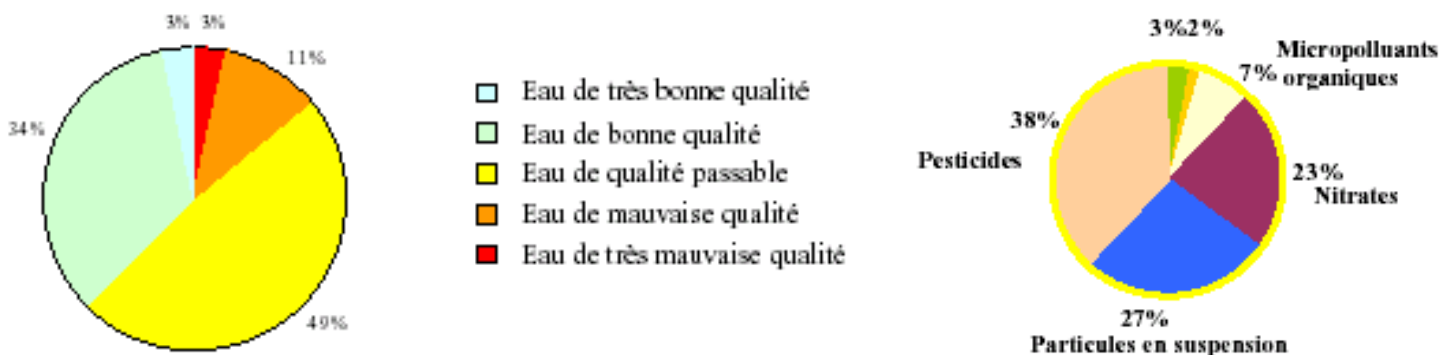
Si du point de vu de la santé publique, les concentrations trouvées sont encore largement compatibles avec la production d'eau potable, la présence de pesticides à forte rémanence comme les triazines dans l'eau dégrade fortement l'état patrimonial des aquifères (**Annexe 5**).

**En conclusion ...**

➤ Les **petits cours d'eau** sont les plus touchés par les nitrates avec une qualité globalement passable sur l'ensemble du bassin Rhin-Meuse. Concernant les produits phytosanitaires, ils sont détectés sur quasiment toutes les stations et dans certains cas à des teneurs susceptibles de réduire significativement le nombre d'organismes aquatiques sensibles.

➤ Pour les **eaux souterraines**, d'après le Système d'Evaluation de la Qualité (SEQ, outil InterAgences), la répartition des stations en classes de qualité est la suivante :

Figure 3 : Répartition des stations RBES en classes de qualité



Source : [GOUJON A.L., LAPUYADE F, 2001].

Le constat doit donc être fait que les stations du RBES ne sont qu'à 37 % seulement considérées comme ayant une bonne ou une très bonne qualité. La moitié d'entre elles fournissent une eau de qualité passable. Les principales causes de ce déclassement en qualité passable sont les pesticides (38%) suivi des particules en suspension (27%) et des nitrates (23 %).

**Les ressources en eau du bassin Rhin-Meuse sont largement touchées par des pollutions azotées et de plus en plus par la présence des produits phytosanitaires. Bien qu'ayant des origines et des compartiments cibles identiques, ces deux types de polluants présentent des différences importantes à mettre en évidence.**

## 1.4 Les différences entre azote et produits phytosanitaires

Le tableau suivant établit les principales différences entre les nitrates et les produits phytosanitaires qu'il faudra prendre en compte dans une étude simultanée de ces éléments.

*Tableau 1 : Principales différences entre les nitrates et les produits phytosanitaires*

	NITRATES	PRODUITS PHYTOSANITAIRES
Origine	Naturelle et anthropique	Anthropique
Rôle	Croissance et reproduction des végétaux, satisfaire les besoins des plantes	Elimination des adventices, lutte contre les ravageurs des cultures.
Propriété	Ion NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> très soluble qui ne s'adsorbe pas sur la phase solide, très mobile.	Multitude de molécules aux propriétés propres, plus ou moins mobiles ou adsorbables.
Réaction chimique	Minéralisation, nitrification, dénitrification, assimilation, réaction biologique...	Biodégradation, adsorption, désorption, accumulation
Gestion	Etablir un équilibre entre les besoins et les apports	Pas de notion d'équilibre
Toxicité	DJA <sup>1</sup> = 3.65 mg/kg de poids corporel et par jour (OMS <sup>2</sup> ) dont 22% provenant de l'eau de boisson.	DJA pour chaque produit
Normes de potabilité européenne	50 mg/l limite de potabilité 25 mg/l valeur seuil	0.1 µg/l par substances individualisées 0.5 µg/l pour le total des substances avec les exceptions suivantes : 0.03 µg/l pour l'aldrine et la dieldrine 0.01 µg/l pour l'heptachlore.
Normes sur eau brute	100 mg/l pour les eaux souterraines 50 mg/l pour les eaux superficielles	2 µg/l par produits phytosanitaire 5 µg/l pour le total des substances
Période de détection	En période hivernale, lessivage (octobre à mars sur le bassin Rhin-Meuse)	Après l'application des produits et en période hivernale (octobre à mars sur le bassin Rhin-Meuse)
Méthode de mesure	Méthode simple, peu coûteuse, sur de petits échantillons	Méthode complexe, coûteuse, parfois inexistante, sur des échantillons importants
Type de pollution	Principalement diffuse	Aussi bien diffuse que ponctuelle

<sup>1</sup> Dose journalière admissible

<sup>2</sup> Organisation mondiale de la santé

L'azote est un élément présent dans le milieu d'une façon naturelle et indispensable pour les plantes. Il faut donc prendre en compte la fourniture du sol pour déterminer la part d'azote anthropique. Le cycle biogéochimique est complexe, faisant intervenir de nombreux éléments qui vont influencer sur le stock d'azote présent. Il est indispensable de les prendre en compte dans l'interprétation des mesures réalisées sur le terrain.

La diversité des produits phytosanitaires rend leur étude beaucoup plus complexe que celle des nitrates. Chaque substance a des caractéristiques particulières qui vont influencer les modes et les vitesses de transfert. Certains se dégradent en métabolites pouvant être plus dangereux que les molécules mères et souvent mal connus. L'atrazine en est le meilleur exemple avec son métabolite principal le déséthylatrazine que l'on retrouve en quantité non négligeable dans les eaux. Leur détermination est pourtant indispensable pour déterminer la qualité du milieu.

### En Résumé...

L'azote et les produits phytosanitaires engendrent des pollutions aussi bien diffuses que ponctuelles et se retrouvent en quantité non négligeable dans les eaux superficielles et souterraines.

La prise de conscience de ces pollutions a pour principale origine leurs effets potentiels sur la santé humaine et leur augmentation dans la ressource en eau potable. Des doses journalières admissibles (DJA) ont été définies pour les nitrates et l'ensemble des produits phytosanitaires ainsi que des normes de potabilité très strictes visant à réduire les risques de toxicité. Des normes de qualité ont été établies vis à vis du milieu naturel, lui aussi touché par des problèmes d'eutrophisation et de dégradation des écosystèmes.

Sur le bassin Rhin-Meuse, les nitrates et les produits phytosanitaires sont les deux principaux facteurs de déclassement de la qualité des eaux superficielles et souterraines. Les normes de potabilité sont dépassées en de nombreux points malgré des actions engagées depuis longtemps, principalement pour les nitrates.

Bien qu'ayant des voies de transfert et des origines anthropiques identiques, les nitrates et les produits phytosanitaires ont des caractéristiques bien différentes dont il faut tenir compte lors d'un suivi simultané de la qualité du milieu. Les périodes de détection, la nature des substances recherchées et les méthodes à utiliser sont bien spécifiques. La principale difficulté dans le suivi des produits phytosanitaires réside dans la diversité des molécules et la mise sur le marché de nouvelles matières actives dont les méthodes d'analyse peuvent être inconnues ou difficiles à mettre en œuvre pour un suivi en routine. Un des enjeux actuel est de pouvoir détecter ces substances en amont de la pollution des eaux.

## 2 Les actions de reconquête du milieu et leur suivi

Sur l'ensemble du bassin Rhin-Meuse, diverses actions de lutte contre les pollutions d'origines agricoles sont mises en place vis à vis des nitrates et des produits phytosanitaires. Toutes ces mesures sont imbriquées les unes dans les autres en partant des mesures réglementaires jusqu'aux actions volontaires.

### 2.1 Actions engagées pour limiter la pollution par les nitrates

#### 2.1.1 Mesures réglementaires contre les pollutions d'origine agricole

La pollution par les nitrates a plusieurs origines qui ont des impacts différents. Des mesures réglementaires ont été créées pour chaque situation. Les pollutions diffuses d'origine agricoles sont réglementées principalement par la Directive « Nitrate », les pollutions ponctuelles d'origine agricole dues essentiellement à l'élevage sont suivies par le Programme de Maîtrise des Pollutions liées aux Effluents d'Elevage (PMPLEE) qui succède au Programme de Maîtrise de la Pollution d'Origine Agricole (PMPOA). Une réglementation concernant les pollutions ponctuelles d'origine non agricole doit également être appliquée comme la directive « Eaux usées » n°91/271/CEE relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (collecte, traitement et rejets). Elle ne sera pas traitée ici.

- La Directive « Nitrate » de l'Union européenne et sa transcription en droit français.

La directive 91/676/CEE du 12 décembre 1991 dite « Directive Nitrate » a un double objectif : d'une part réduire les pollutions directes ou indirectes des eaux par les nitrates provenant de sources agricoles et, d'autre part, en prévenir l'extension. Elle oblige les états membres à établir un code de bonnes pratiques agricoles. Elle insiste en particulier sur la fertilisation puisqu'elle définit les principales conditions d'un amendement des terres respectueux des ressources en eau. Elle a été transcrite en droit français par le décret n°93 1038 du 27 août 1993. Les Etats membres sont également obligés de définir des zones vulnérables. Au sens du décret du 27.08.93, sont désignées comme zones vulnérables les parties de territoire qui alimentent :

- des ressources en eau potable superficielles ou souterraines dont la teneur en nitrate est soit supérieure à 50 mg/l, soit comprise entre 40 et 50 mg/l avec une tendance d'évolution à la hausse,
- des milieux aquatiques touchés par un phénomène d'eutrophisation susceptible d'être efficacement combattu par une réduction des apports en azote.

Ils doivent ensuite lancer des programmes d'actions pour limiter les pollutions des eaux et sont tenus de remettre, tous les quatre ans, un rapport à la Commission sur les mesures qui ont été prises et leurs résultats.

Ces zones ont été délimitées par un arrêté préfectoral à l'échelle du bassin Rhin-Meuse. Deux inventaires des zones vulnérables ont été réalisés, respectivement en 1994 et 2000. Elles représentent aujourd'hui 40 % du bassin (**Annexe 6**).

L'impact de la Directive Nitrates est limité : les contraintes imposées ont peu d'effet sur les pratiques usuelles, l'objectif étant de limiter les pratiques les plus intensives. Le périmètre des zones vulnérables a néanmoins diminué de 2% entre 1994 et 2000 [SDAGE, 2000].

- Programme de Maîtrise de la Pollution d'Origine Agricole (PMPOA) suivi du Programme de Maîtrise des Pollutions Liées aux Effluents d'Élevage (PMPLEE)

L'objectif de ces programmes est de diminuer la pollution des eaux souterraines et superficielles par les effluents d'élevage en améliorant leur gestion, notamment par l'augmentation des capacités de stockage et par de meilleures techniques d'épandage.

Par arrêté du 29 février 1992, la mise en conformité des élevages est devenue obligatoire. Cette mise aux normes concerne les élevages de plus de 70 UGB (Unité Gros Bétail) et doit être réalisée entre 1994 et 2002. Cette mesure a été étendue aux élevages de moins de 70 UGB en nappe d'Alsace.

Sur le bassin Rhin-Meuse, il semble pas que le programme ait eu une influence positive sur la qualité des eaux par l'amélioration des conditions de stockage et d'épandage des effluents d'élevage [Rapport d'évaluation sur la gestion et le bilan du PMPOA, 1999].

### 2.1.2 Mesures contractuelles

Les mesures contractuelles sont définies comme des mesures basées sur un contrat d'une durée limitée souscrit volontairement par l'agriculteur qui bénéficie d'une indemnisation financière.

- Décret n°2078/92 de l'Union européenne et mesures agri-environnementale (MAE)

Ce décret a été rédigé dans le cadre de la réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) en initiant des mesures destinées à encourager une agriculture respectueuse de l'environnement et des ressources naturelles. Une compensation financière est versée aux agriculteurs qui pratiquent des méthodes de production biologiques extensives (jachère, faune sauvage, prime à l'herbe, reconversion des terres arables, etc...). Par ailleurs, les agriculteurs peuvent prendre part aux actions de protection de l'environnement et d'entretien des paysages (mesures agri-environnementale). Les exigences du décret FEOGA 1257/1999 sont appliquées depuis l'année 2000.

Les mesures agri-environnementales reposent sur le principe de la souscription volontaire d'un contrat quinquennal par l'agriculteur ; celui-ci s'engage à respecter un cahier des charges spécifique et perçoit en contrepartie une indemnisation. On distingue deux types de mesures :

- les mesures nationales : la prime à l'herbe et les plans de développement durable,
- les mesures régionales : les opérations régionales à cahier des charges national, et les opérations locales, dont la problématique est issue du contexte local.

Les MAE sont remplacées par les Contrats Territoriaux d'Exploitation, prévus par la loi d'orientation agricole n°99-574 du 9 juillet 1999.

- Contrat Territoriaux d'Exploitation (CTE)

La loi d'orientation agricole de 1999, a précisé le rôle de la politique agricole qui « prend en compte les fonctions économiques, environnementales et sociale de l'agriculture et participe à l'aménagement du territoire, en vue d'un développement durable ». Ces différentes fonctions de l'agriculture sont regroupées sous le terme de multifonctionnalité dont le Contrat Territorial d'Exploitation (CTE) est aujourd'hui en France l'outil principal de développement.

Un CTE est un projet conciliant le développement économique d'une exploitation et la prise en compte de l'environnement sur une durée de 5 ans. Ce type de contrat est fondé sur la reconnaissance des différentes fonctions de l'agriculture :

- production agricole et création de valeur ajoutée par la qualité et la diversification ;
- gestion durable des ressources naturelles ;
- contribution à l'équilibre des territoires et au développement local.

Dans les CTE, on retrouve un volet territorial et environnemental qui intègre, entre autres, des objectifs relatifs à la préservation et à l'amélioration de la qualité de l'eau, des sols et de l'air ainsi que de la biodiversité et des qualités du paysage. Le CTE est l'expression d'une démarche contractuelle individuelle et volontaire de l'agriculteur dans un cadre collectif. Ce cadre est élaboré à l'échelle départementale et fixe les mesures types souhaitées qui pourront ouvrir en contre partie l'octroi d'aides financières. Des cahiers des charges précisent pour chaque type les moyens à mettre en œuvre ou les résultats à atteindre ainsi que les compensations financières prévues. Actuellement, cette mesure est fortement remise en cause et risque d'être arrêtée en 2003.

Au total, 1400 CTE ont été signés sur l'ensemble du bassin Rhin-Meuse mais tous n'ont pas un intérêt environnemental ou très limité à la différence des MAE.

### 2.1.3 Les actions volontaires

Les actions volontaires ont pour objectif de concilier des pratiques respectueuses de l'environnement avec un maintien des revenus en se basant sur un engagement moral des agriculteurs.

- Ferti-Mieux

Les opérations Ferti-Mieux ont pour but de limiter et de maîtriser les risques de pollution diffuse par les nitrates d'origine agricole. Elles s'appuient sur une démarche visant à concilier pratiques agricoles, respect de l'environnement, qualité de l'eau et maintien du revenu agricole en se basant sur deux constats :

- Le raisonnement de la fertilisation et l'amélioration des pratiques en accord avec le cycle de l'eau et de l'azote peuvent amener à une réduction des fuites en nitrates ;
- Les actions doivent être menées sur l'ensemble du bassin versant pour protéger la ressource.

Ces opérations de conseil et de sensibilisation sont destinées à convaincre les agriculteurs de modifier leur gestion des apports azotés et leurs pratiques culturales afin de protéger la qualité des eaux. Il est important de noter que dans la démarche Ferti-Mieux, on ne s'engage pas à diminuer les teneurs en nitrates dans les eaux à court terme, mais à mettre en œuvre les moyens nécessaires pour diminuer les risques de pollution d'origine agricole. Il y a donc une obligation de moyens, pas de résultats [BERNARD, 2000].

Ces opérations sont financées principalement par les collectivités, l'Agence de l'eau et les Chambres d'agriculture dans des proportions variables selon les actions. La mise en place est réalisée par la Chambre d'agriculture du secteur concerné en lien avec l'Association Nationale pour le Développement Agricole (ANDA) de même que toute la phase de suivi de l'opération.

Le bassin Rhin-Meuse compte aujourd'hui 16 opérations Ferti-Mieux, 7 en Lorraine, 1 en Champagne-Ardenne et 8 en Alsace (**Annexe 7**). Sur le bassin Rhin-Meuse, les opérations Ferti-Mieux devraient, à terme, couvrir la totalité des zones vulnérables de nappes affleurantes.

Il faut reconnaître l'impact encore mitigé de ces opérations sur la qualité des nappes vulnérables vis à vis des nitrates. Certaines, en place depuis de nombreuses années, ne montrent pas d'évolutions significatives à la fois au niveau des modifications de pratiques et d'amélioration de la qualité du milieu. Cependant, certaines opérations sont à remarquer, comme " Sources de Gorze " (Moselle) ou " Haut-Saintois " (Meurthe-et-Moselle, Vosges), opérations où l'on peut voir une évidente corrélation entre la diminution des intrants azotés et l'amélioration de la qualité de la ressource. Il est évident que le périmètre limité de ces opérations, l'occupation du sol, le fort taux d'encadrement (un seul animateur, comme toutes les autres opérations, mais pour un nombre bien plus réduit d'agriculteurs), ainsi que la forte motivation des agriculteurs sont des facteurs déterminants de cette réussite.

Les opérations Ferti-Mieux sont parfois renforcées par des aides aux cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN). Ces cultures sont implantées pour éviter de laisser les sols nus ce qui réduit le stock d'azote dans le sol et limite le lessivage. Une indemnité est versée aux agriculteurs pour inciter leur implantation.

#### **2.1.4 Mesures particulières aux captages d'eau potable**

Les périmètres de protection sont des outils réglementaires mis en place par la loi n°64-1245 du 16 décembre 1964 pour protéger les ressources exploitées pour l'alimentation en eau potable. La loi sur l'eau de 1992 a rendu ce dispositif obligatoire pour tous les points de captage d'eau potable. Il comprend deux éléments : une délimitation géographique des périmètres de protection et l'établissement des prescriptions à mettre en place et des indemnités correspondantes. On distingue trois périmètres :

- ⇒ Immédiat (quelques ares) : ce périmètre est obligatoire, toute activité y est interdite et il doit appartenir en pleine propriété à l'exploitant du captage. Il doit prémunir le captage d'une introduction directe de corps étranger dans l'ouvrage.
- ⇒ Rapproché (10 à 100 ha) : Obligatoire, de taille variable avec des prescriptions (interdictions ou réglementations), sans expropriation. Les interdictions dans le périmètre rapproché protègent les eaux captées sur le plan quantitatif et qualitatif.
- ⇒ Eloigné : facultatif, étendu à toute l'aire d'alimentation du point d'eau sans interdictions.

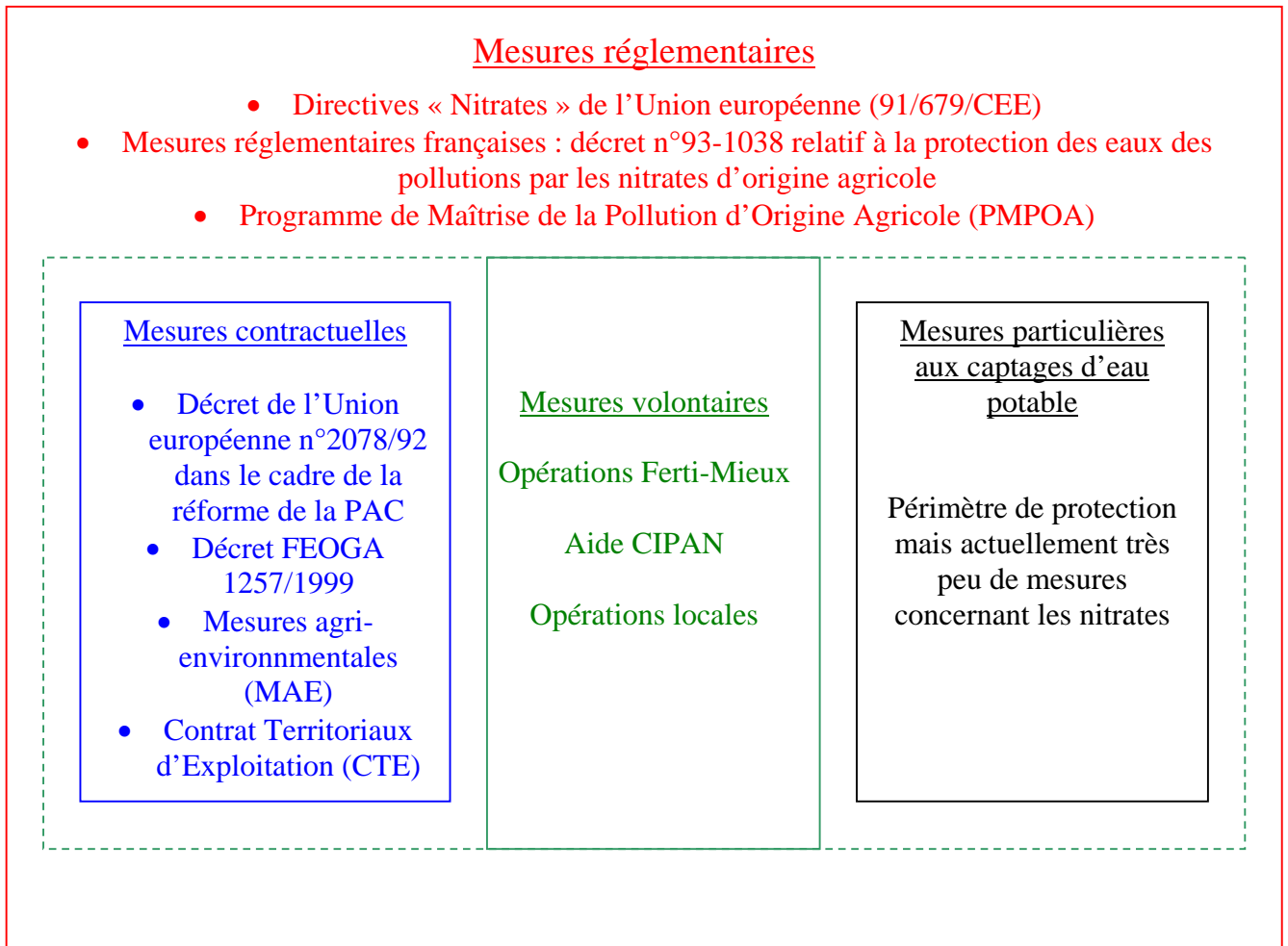
Le principal objectif est de lutter contre les pollutions ponctuelles et de maintenir la zone d'alimentation en état. Généralement aucune action de reconquête du milieu ou de limitation des pollutions diffuses par les nitrates n'est mise en place. Quelques actions contractuelles ou volontaires peuvent être engagées sur certains périmètres de protection dans des secteurs pollués ou pour protéger des sources particulières (les sources de Vittel). Une protection de principe (minimale) est adoptée dans la majorité des cas.

En 2000, sur le bassin Rhin-Meuse, 48% des captages font l'objet d'une Déclaration d'Intérêt Public (DUP) [SDAGE, 2000] (**Annexe 8**).

**La figure 4 résume les différentes actions mises en place pour lutter contre la pollution par les nitrates d'origines agricoles et leurs niveaux d'intervention.**



Figure 4 : Actions mises en place pour lutter contre les pollutions par les nitrates



## 2.2 Les actions mises en place pour limiter la pollution par les produits phytosanitaires

Comme pour les nitrates, la lutte contre la pollution par les produits phytosanitaires suit des réglementations européennes et françaises et leur application par des actions réglementaires, contractuelles et volontaires. Ces actions sont nettement moins nombreuses que pour les nitrates en raison d'une prise de conscience plus récente.

### 2.2.1 Mesures réglementaires

Les mesures réglementaires concernent essentiellement les conditions de mise sur le marché des produits et leur utilisation.

- Autorisation de mise sur le marché des produits phytosanitaires

La Directive européenne n°91/414 sur la commercialisation des produits phytosanitaires concerne l'autorisation de mise le marché, la vente, l'utilisation et le contrôle des produits phytosanitaires. En annexe de cette directive européenne, une liste «positive» précise les substances actives autorisées sur le marché européen. Les substances actives non inscrites sur cette liste ne peuvent pas entrer dans la composition d'un produit commercial autorisé par l'Union Européenne.

Certaines substances actives sont déjà interdites au niveau européen car elles ne répondent pas aux nouvelles normes de mise sur le marché. Chaque état membre garde la responsabilité de l'autorisation sur son territoire des produits phytosanitaires.

En France, le demande d'autorisation de mise sur le marché est définie par l'arrêté du 6 septembre 1994. Par ailleurs, le plan « Produire plus propre » du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, et du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement a pour objectif de limiter les risques de pollutions grâce aux mesures suivantes :

- A partir de juin 2003, l'utilisation d'atrazine sera interdite ;
- Depuis juillet 1997, l'usage du diuron est limité dans les zones non agricoles et agricoles, et est interdit seul ;
- L'utilisation du lindane est interdite depuis 1998.

- Utilisation et élimination des produits phytosanitaires

L'arrêté du 25 février 1975 réglemente l'utilisation des produits phytosanitaires : précautions d'emploi nécessaire pour éviter l'entraînement vers les cours d'eau et les points d'eau destinés à la consommation humaine et animale, ou déclaration pour les traitements aériens.

Le décret du 5 octobre 1994 organise la distribution et l'application des produits phytosanitaires. Il existe également des réglementations particulières concernant les restrictions d'utilisation.

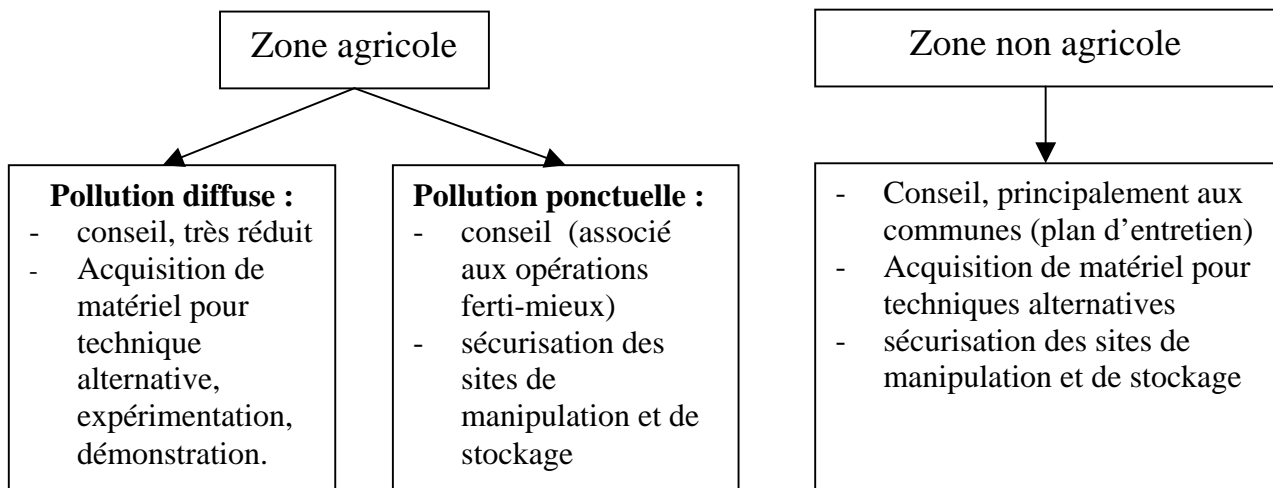
### 2.2.2 Mesures contractuelles et volontaires

Les actions mises en place pour réduire les pollutions par les produits phytosanitaires concernent d'une part les zones non agricoles et d'autre part les zones agricoles où les mesures à prendre sont différentes. Elles sont récentes et très localisées.

Sur les zones non agricoles, les principales actions sont basées sur le conseil visant à mieux utiliser les produits, sur l'acquisition de matériel pour favoriser les techniques alternatives et sur la sécurisation des sites de manipulation et de stockage.

Sur les zones agricoles, il faut distinguer la pollution diffuse qui nécessite un conseil approprié et l'utilisation de techniques alternatives et la pollution ponctuelle qui est de plus en plus prise en compte dans les opérations Ferti-Mieux par du conseil et la sécurisation des sites de manipulation et de stockage. Les CTE permettent également de lutter contre ces pollutions en apportant une aide financière à l'aménagement des exploitations et à l'achat de matériels adaptés. En 2002, un programme d'aide financé par l'agence de l'eau Rhin-Meuse va être mis en place pour sécuriser les sites de manipulation.

Figure 5 : Actions mises en place pour limiter la pollution par les produits phytosanitaires



Ces actions se traduisent concrètement par un certain nombre de changement de pratiques et d'aménagement des exploitations. Pour limiter les transferts des produits phytosanitaires vers le milieu naturel, des mesures curatives permettant d'intercepter le ruissellement peuvent être mises en place comme des talus, des haies, des bandes enherbées qui constituent des zones tampons entre la parcelle cultivée et le milieu naturel.

En parallèle, des actions préventives contre les pollutions diffuses sont fortement conseillées :

- Favoriser les techniques de luttés biologiques ;
- Mettre en place des techniques alternatives de desherbage ;
- Limiter le ruissellement sur les parcelles où les risques de ruissellement sont élevés : utiliser les produits les moins mobiles, éviter de traiter à proximité des rivières, aménagement de l'assolement, travail du sol par rapport à la pente ;
- Sur les parcelles drainées : modifier les dates de traitement, aménagement du territoire ;
- Limiter la battance : travail du sol, non labour, gestion des résidus de récolte ;
- Organiser des campagnes de réglage des pulvérisateurs ;

Contre les pollutions ponctuelles, les principales mesures sont la sécurisation des aires de stockage et de manipulation et la récupération et l'élimination des résidus et des emballages de produits phytosanitaires.

### 2.2.3 Mesures particulières aux captages d'eau potable

En France, il n'existe, à ce jour, aucune mesure réglementaire particulière concernant l'utilisation des produits phytosanitaires dans les périmètres de protection. En revanche des expérimentations de remise en herbes, avec indemnisation des agriculteurs ont été menées pour plusieurs captages. Les techniques alternatives de desherbage sont fortement conseillées sur ces secteurs.

La figure 6 résume les différentes actions mises en place pour limiter la pollution par les produits phytosanitaires et leurs niveaux d'intervention. Les futures orientations des actions de lutte contre les pollutions par les produits phytosanitaires devront prendre en compte la mise sur le marché de nouvelles matières actives, en substitution à l'atrazine par exemple, afin de pouvoir intervenir avant de les retrouver dans le milieu naturel. Un des enjeux majeur est de devancer la pollution par ces substances pour éviter de se retrouver dans une situation similaire à celle que l'on connaît actuellement pour de nombreuses molécules.

Figure 6 : Actions mises en place pour lutter contre la pollution par les produits phytosanitaires

### Mesures réglementaires

- Autorisation de mise sur le marché des produits phytosanitaires : Directive européenne 91/414 et arrêté du 6 septembre 1994 dans la législation française ; plan « produire plus propre » du ministère de l'agriculture et de la pêche et du ministère de l'environnement (1997)
- Utilisation et élimination des produits phytosanitaires : législation française

#### Mesures contractuelles et volontaire au niveau européen et national

- Règlement européen n°2078/92 dans le cadre de la PAC
- Mesures agri-environnementales (MAE)
  - Contrat Territoriaux d'Exploitation (CTE)

#### Mesures volontaires au niveau local

- Groupe de travail « eau et produits phytosanitaires
- Fiches d'information et de conseils
- Campagne de réglage des pulvérisateurs
  - Récupération et élimination des résidus PPNU et emballages vides
- Opérations expérimentales

#### Mesures particulières aux captages d'eau potable

Périmètre de protection mais actuellement très peu de mesures concernant les produits phytosanitaires

Le tableau 2 synthétise l'ensemble des actions de reconquête du milieu mises en place sur le bassin Rhin-Meuse pour lutter contre les pollutions par les nitrates et les produits phytosanitaires ainsi que leurs principales caractéristiques.

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des mesures contre les pollutions d'origines agricoles et leurs principales caractéristiques

Mesure	Type	Objectif	Polluants concernés	Zone d'action	Implantation sur le bassin Rhin-Meuse	Durée
<b>Directive Nitrate (1991)</b>	Réglementaire	Limiter les pollutions diffuses d'origine agricole	Nitrates	Zone vulnérable = bassin d'alimentation des eaux superficielles et souterraines	40% de la surface du bassin	Programme d'action de 4 ans (théorique)
<b>PMPOA (1993)</b>	Réglementaire	Limiter les pollutions ponctuelles d'origine agricole	Azote organique, nitrates	Elevage	Tous les élevages sont aidés	Mise aux normes doit être fini en 2002
<b>Directive 91/414 et législation française (1991)</b>	Réglementaire	Mise sur le marché, distribution et restrictions d'utilisation	Produits phytosanitaires	Européen et national		
<b>Plan "Produire propre" (1997)</b>	Réglementaire	Limiter les pollutions d'origine agricole	Produits phytosanitaires	national		
<b>Mesure agri-environnementale (1992)</b>	Contractuel et volontaire	Limiter les pollutions d'origine agricole	Nitrates	parcelle	?	5 ans
<b>Contrat Territoriaux d'Exploitation (1999)</b>	Contractuel et volontaire	Limiter les pollutions d'origine agricole	Nitrates et produits phytosanitaires	Exploitation	1415 contrats signés (Alsace, Lorraine)	5 ans
<b>Opération Ferti-Mieux (1991)</b>	Volontaire	Limiter les pollutions d'origine agricole	Nitrates et de plus en plus produits phytosanitaires	Bassin versant, zone vulnérable ( de 800 à 45 000 ha)	16 opérations soit 330 000 ha	pas de limite dans le temps
<b>Périmètre de protection de captage (1964)</b>	Réglementaire	Protection de la ressource en eau potable contre les pollutions ponctuelles	Tous les polluants	PPI = quelques ares, PPR = 10 à 100 ha PPE = bassin d'alimentation	48% des captages font l'objet d'une DUP	pas de limite dans le temps

## 2.3 Les systèmes d'évaluation mis en place

Pour suivre l'évolution des actions de reconquête du milieu, des évaluations sont réalisées périodiquement. Deux types de suivi sont mis en place :

- un suivi de l'évolution des pratiques agricoles ;
- un suivi de la qualité du milieu.

### 2.3.1 Suivi de la Directive Nitrate

Ce double suivi est mis en place pour évaluer l'efficacité de la Directive « Nitrates ».

#### ◆ Suivi des pratiques agricoles

Le suivi des pratiques agricoles a pour principal objectif de mesurer l'incidence de la réglementation sur les pratiques agricoles de fertilisation azotée et de suivre l'évolution des pratiques. Pour cela les indicateurs couvrent deux champs distincts :

- la gestion des effluents d'élevage (collecte, stockage, fertilisation organique) ;
- le raisonnement de la fertilisation et gestion de l'interculture.

Le suivi est réalisé sous forme d'enquête auprès d'un échantillon représentatif d'agriculteurs sur la zone vulnérable. Il permet de mettre en évidence les situations à risque et d'orienter les modifications de pratiques à apporter.

#### ◆ Suivi de la qualité du milieu naturel

La surveillance de la qualité du milieu naturel est organisée par les articles 5 et 6 de la directive. La délimitation de zones vulnérables oblige les Etats membres à « surveiller la teneur en nitrates des eaux (eaux de surface et eaux souterraines) à des points de mesures sélectionnés, qui permettent de déterminer l'étendue de la pollution des eaux par les nitrates à partir de sources agricoles. » Les critères de classement sont la teneur en nitrates dans les secteurs « atteints par la pollution » ( teneur supérieure à 50 mg/l) et dans des secteurs « menacé par la pollution » (teneur comprise entre 40 et 50 mg/l) et l'eutrophisation des cours d'eau due aux nitrates. Des réseaux de suivi ont été mis en place et un bilan est rendu tous les 4 ans pour réexaminer l'étendue des zones vulnérables. Ce suivi est critiquable en raison de biais méthodologiques par exemple qui peuvent rendre les résultats contestables.

Ces deux suivis sont nécessaires et complémentaires pour évaluer l'impact de la Directive Nitrate. Néanmoins, le principal objectif est de mesurer l'évolution des pratiques agricoles et non celle des effets polluants [ROUYER, 2000].

### 2.3.2 Suivi du PMPOA

Comme pour la Directive Nitrate, le suivi du PMPOA se fait au niveau des modifications des pratiques agricoles et de l'évolution de la qualité de l'eau.

#### ◆ Suivi des pratiques agricoles

Les services en charge des installations classées font le suivi de la mise aux normes des bâtiments et de la gestion des effluents d'élevage.

Mais selon le bilan d'évaluation du PMPOA paru en 1999 : « Ces contrôles exercés sont réduits au regard des risques importants que représentent ces pratiques culturales sur l'environnement. Il est évident que les possibilités de contrôle sur place de l'application des plans d'épandage sont par définition limitées : contrôler les quantités réellement épandues sur telle ou telle parcelle, pour vérifier que le plan de fumure est réellement appliqué, est un exercice difficile et dont les résultats seraient par ailleurs contestables. Les seuls contrôles faciles à mettre en œuvre seraient de mesurer le niveau des fosses à lisier pour s'assurer que les échéanciers prévus sont bien respectés, ce qui est loin d'être systématique. »

#### ◆ Suivi de la qualité du milieu naturel

Le contrôle des pratiques est associé au suivi de l'évolution de la qualité des eaux. Les campagnes de surveillance menée pour évaluer l'efficacité de la Directive Nitrate, tous les 4 ans, sont également utilisées pour évaluer celle du PMPOA. On peut se poser la question d'un suivi commun pour les pollutions diffuses d'origine agricole et les pollutions ponctuelles provenant des élevages.

### 2.3.3 Suivi des opérations Ferti-Mieux

Le suivi des opérations Ferti-Mieux est réalisé annuellement. Un bilan est ensuite établi tous les 4 ans. Cette évaluation finale suit une méthodologie précise depuis 1997, proposée par le CORPEN, comité de pilotage national des opérations Ferti-Mieux. En début d'opération, un état des lieux des pratiques agricoles et de la qualité du milieu est réalisé pour servir de référence aux évaluations suivantes.

L'évaluation quadriennale s'organise en 3 étapes progressives centrées chacune sur un indicateur et définissant des critères à prendre en compte pour mesurer l'évolution des pratiques agricoles et l'impact sur le milieu naturel [LANQUETUIT, SEBILLOTTE, 1997]:

① **Le solde CORPEN** est la différence entre les entrées et les sorties d'azote pour une année sur l'ensemble des parcelles d'une exploitation. Il met en évidence les déséquilibres importants et il permet un diagnostic rapide ainsi que la comparaison des groupes d'exploitation entre eux sur un secteur géographique.

② **La grille de risque** sert à classer les situations par rapport au risque de lixiviation de l'azote, selon les milieux, les systèmes de culture et le fonctionnement des exploitations. Elle croise « **milieu et système de culture** » et constitue un outil stratégique pour le comité de pilotage des opérations Ferti-Mieux. Elle permet de fixer les priorités d'action et de visualiser les situations à risques.

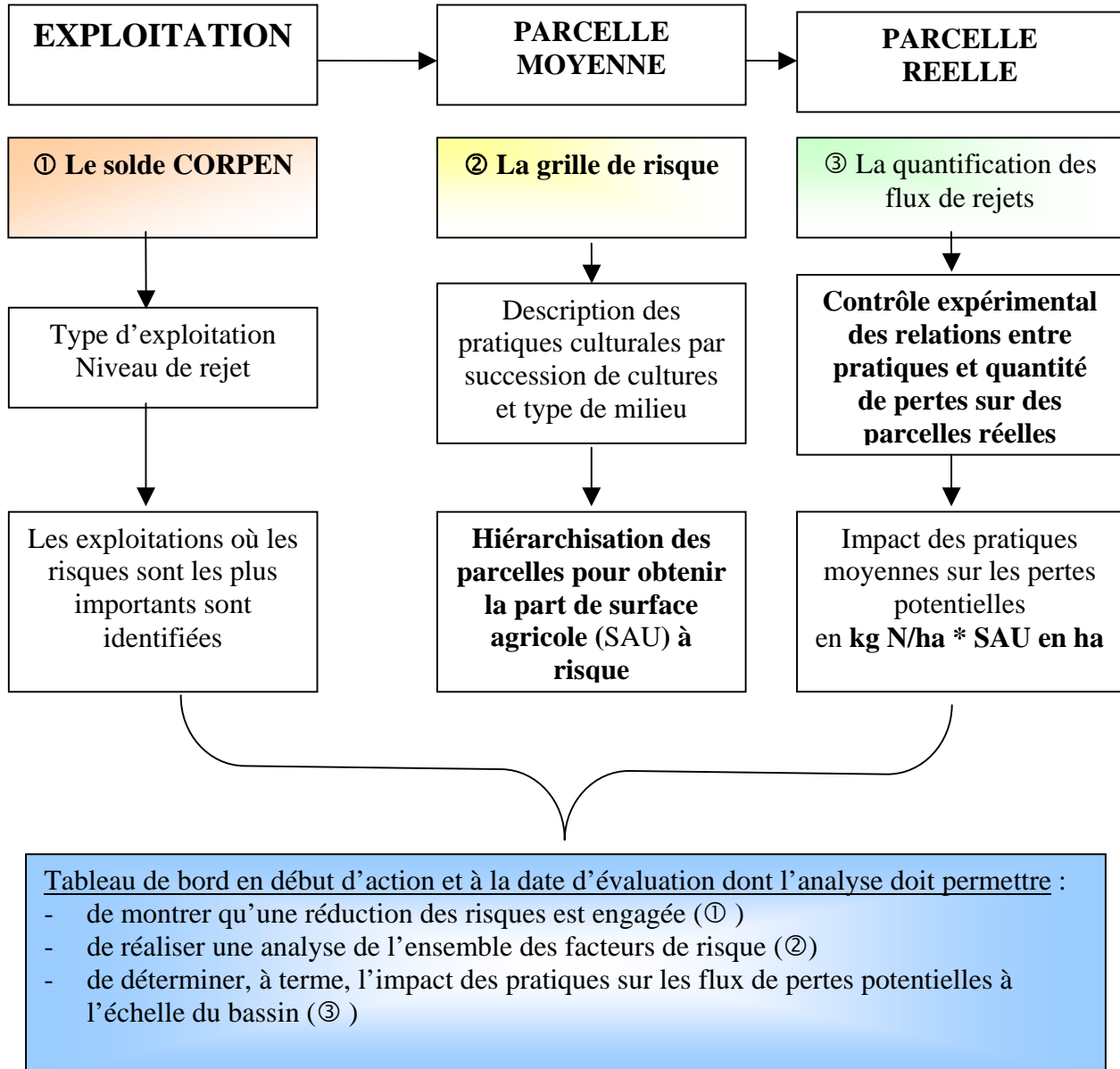
③ **La quantification des flux de rejets** a pour but de construire un tableau de bord quantitatif de l'impact des pratiques, exprimé en flux de pertes probables de nitrates par lixiviation ou ruissellement à l'unité de surface. Un contrôle expérimental des relations entre pratiques et quantités de pertes est donc nécessaire sur des parcelles réelles (mesures ponctuelles, autant que possible en parcelles agricoles, ou modélisation).

Pour les deux premières étapes, les renseignements sont issus de déclarations d'agriculteurs ou d'experts pour décrire les pratiques. Pour la troisième étape, la mesure est indispensable pour donner des preuves de la réduction des risques.

Chaque étape est détaillée dans l'**annexe 9**.

Ces étapes permettent de passer d'un niveau d'observation « exploitation moyenne » au niveau « parcelles moyennes » puis à des parcelles réelles avec possibilité de gestion collective à l'échelle du bassin.

Figure 7: Méthode d'évaluation des opérations Ferti-Mieux



Chaque opération Ferti-Mieux est évaluée selon cette méthodologie quand elle est appliquée. Les deux premières étapes concernant les modifications de pratiques agricoles sont réalisées systématiquement. Par contre la troisième étape, celle qui nous intéresse particulièrement dans cette étude, est souvent négligée. Les évaluations s'arrêtent donc à l'élaboration de la grille de risques sans quantifier les flux.



Un suivi de la qualité du milieu est néanmoins réalisé sur quelques actions du bassin Rhin-Meuse pour connaître l'évolution des teneurs en nitrates :

- un suivi de la qualité des eaux souterraines et superficielles :
  - Suivi de la qualité des eaux souterraines de la nappe d'Alsace ;
  - Suivi de la qualité des eaux par les réseaux de surveillance des eaux superficielles (RNB) et souterraines (RBES) ;
  - Contrôle sanitaire des DDASS.
  
- un suivi de la qualité des eaux propres à une action
  - Réseau RISQUE (Réseau InterFerti-Mieux de Suivi de la Qualité des Eaux Souterraines), suivi analytique, hydrologique (prélèvement dans des captages) par l'INRA ;
  - Suivi d'un réseau de surveillance de la qualité de l'eau sur le secteur de Gorze par la SME ;
  
- une quantification des pertes par lessivage
  - Par modélisation : Quantification du lessivage printanier avec le modèle de BURNS (Hard eau vive).
  - Par un dispositif expérimental : les bougies poreuses sur l'opération du Haut Saintois suivi par l'INRA.

#### 2.3.4 Suivi des périmètres de protection

Une fois mis en place, les périmètres de protection sont gérés par les collectivités locales. Il n'y a pas de méthode de suivi spécifique à mettre en place. Le suivi de la qualité des eaux du captage, réalisé par les DDASS, est le seul garant de l'efficacité des mesures mises en place.

**Les principales actions de reconquête du milieu sont évaluées selon une méthodologie plus ou moins précise. D'autres comme les CTE ne font actuellement l'objet d'aucun suivi. L'accent est essentiellement mis sur l'évaluation des changements de pratiques agricoles qui devraient à terme améliorer la qualité du milieu. Peu de suivis du milieu propres aux actions sont mis en place pour estimer l'impact de ces changements, en dehors du réseau RISQUE adapté à quelques opérations Ferti-Mieux. Le tableau 3 résume les méthodes de suivi mises en place pour chaque action.**

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des méthodes de suivi des actions de reconquête du milieu

Mesures	Niveau de suivi	Echelle de suivi	Organismes	Fréquence	Critère	Méthode	Destinataire	Suivi réalisé
Directive Nitrates	Qualité des eaux	Départementale puis au niveau du bassin hydrographique	groupe de travail départementaux, DDASS, DDAF, DIREN, Agence de l'eau	réexamen des zones vulnérables tous les 4 ans	teneur en nitrates dans les eaux douces et niveau d'eutrophisation des cours d'eau	campagne annuelle de surveillance de la teneur en nitrates des eaux douces et de l'eutrophisation des cours d'eau	Commission européenne, DIREN	Sur toutes les zones vulnérables
	Modification des pratiques agricoles	Départementale	Chambre départementale d'agriculture	annuel	Nombreux indicateurs de changements de pratiques	enquêtes auprès des agriculteurs	Chambre d'agriculture, Agence de l'eau, DIREN	Sur toutes les zones vulnérables
Opération Ferti-Mieux et MAE associées	Qualité des eaux	Zone de l'opération	Chambre départementale d'agriculture, DDASS, Distributeur, INRA, Agence de l'eau	annuel	teneurs en nitrates dans les eau douces	Campagne annuelle de surveillance de la teneur en nitrates des eaux douces	Chambre d'agriculture, Agence de l'eau, agriculteurs, grand public	sur certaines opérations ayant un réseau de surveillance de la qualité des eaux
	Intermédiaire	Zone de l'opération	INRA	annuel	teneurs en nitrates dans la solution du sol et/ou dans le sol	Indicateurs intermédiaires : bougies poreuses	Chambre d'agriculture, Agence de l'eau, agriculteurs, grand public	opération du Haut-Santois équipé d'indicateurs intermédiaires
	Modification des pratiques agricoles	Zone de l'opération	Chambre départementale d'agriculture	annuel, évaluation globale tous les 4 ans	Indicateurs de changements de pratiques, balance azotée, grille de risques	enquêtes auprès des agriculteurs	Chambre d'agriculture, Agence de l'eau, agriculteurs, grand public	toutes les opérations
PMPOA-PMPLEE	Qualité des eaux suivi par la directive nitrate	Départementale puis au niveau du bassin hydrographique	groupe de travail départementaux, DDASS, DDAF, DIREN, Agence de l'eau	réexamen des zones vulnérables tous les 4 ans	teneur en nitrates dans les eaux douces et niveau d'eutrophisation des cours d'eau	campagne annuelle de surveillance de la teneur en nitrates des eaux douces et de l'eutrophisation des cours d'eau	Commission européenne, DIREN, Agence de l'eau	Sur toutes les zones vulnérables
	Modification des pratiques agricoles	Départementale	Organismes chargés du suivi des installations classées	faible	quantité et date d'épandage, vérification des plans de fumure	enquêtes auprès des agriculteurs, contrôle éventuel		occasionnel
Périmètre de protection de captage	mise en place du périmètre	locales	Maître d'ouvrage, Agence de l'eau, comité de pilotage départemental, comité local	ponctuel	vérification de la mise en place des périmètres de protection, de restriction, suivi de la qualité des eaux	évolution des procédures, fiche de suivi (Cotes d'Armor)		occasionnel

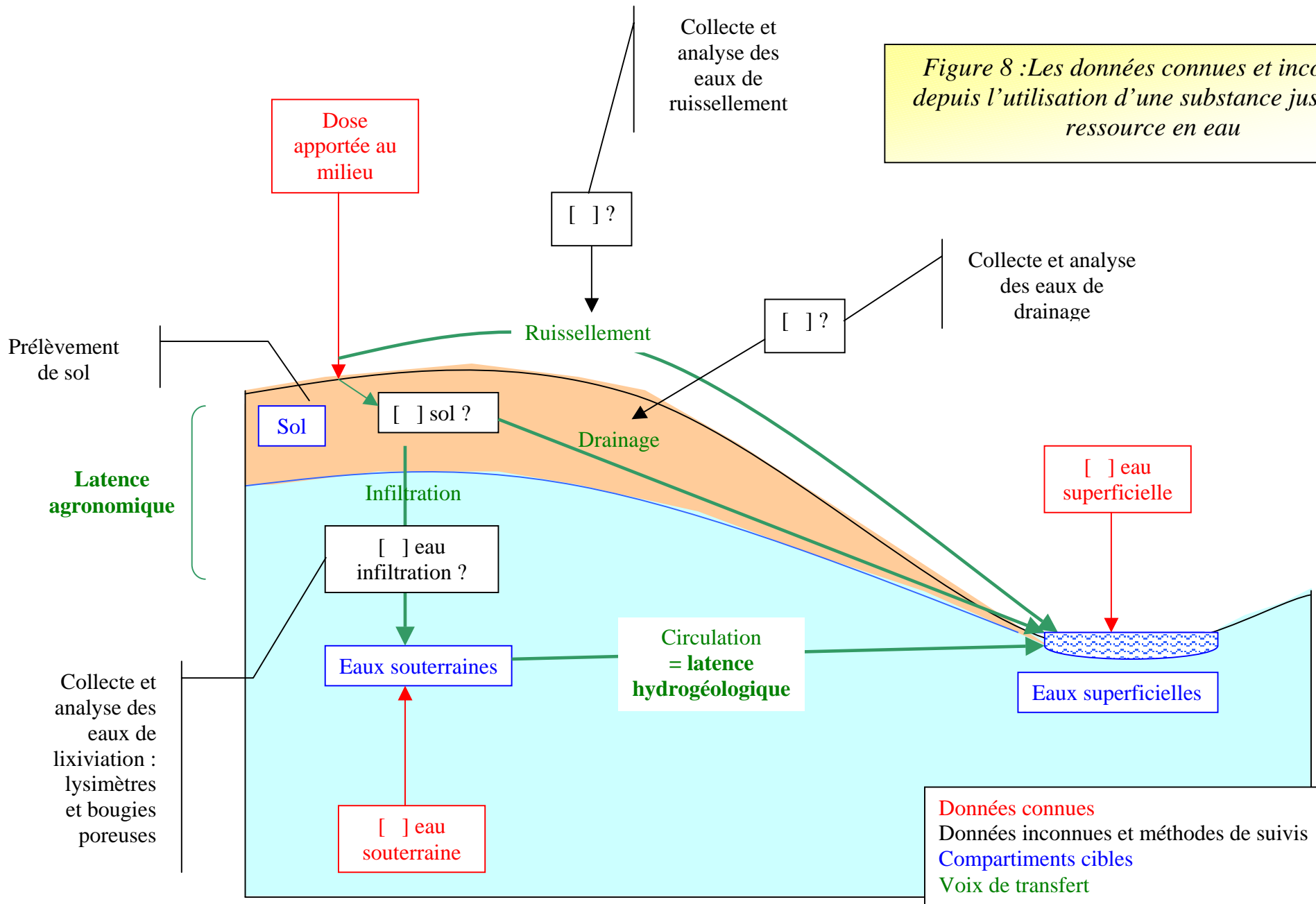


Figure 8 : Les données connues et inconnues depuis l'utilisation d'une substance jusqu'à la ressource en eau

## En résumé...

L'objectif principal de toutes les actions mises en œuvre est de limiter les pollutions d'origine agricole afin d'atteindre des concentrations, en nitrates et produits phytosanitaires dans les eaux, qui ne mettent pas en péril leurs usages. Pour cela, les moyens d'actions sont divers : réglementaires, contractuels et volontaires étendus sur des zones plus ou moins importantes pouvant aller du bassin hydrographique à la parcelle. Toutes les actions sont complémentaires et devraient permettre à terme de maîtriser globalement la pollution agricole au niveau des élevages et des grandes cultures.

Des procédures d'évaluation ont été mises en place pour estimer l'impact des actions. Dans un premier temps, des enquêtes permettent de suivre l'évolution des pratiques agricoles afin de limiter les pratiques dites « à risques » et de les orienter vers des itinéraires techniques respectueux de l'environnement. Dans un deuxième temps, la qualité de l'eau est suivie selon un calendrier défini pour voir l'évolution des concentrations en nitrates et en produits phytosanitaires à l'exutoire des bassins versants. Pourtant l'impact sur le milieu naturel de ces actions reste incertain.

C'est pourquoi, l'agence de l'eau, en tant que financeur de ces actions, souhaiterait mettre en place un suivi intermédiaire à l'aide d'indicateurs d'effet des modifications de pratiques agricoles sur la qualité du milieu.

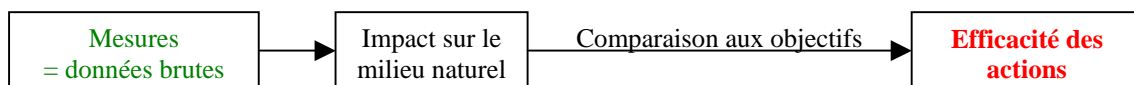
## 3 Dispositifs de mesure des indicateurs d'effets possibles

Le temps de latence agronomique et hydrogéologique sont les principales raisons de l'inertie du milieu face aux modifications de pratiques. Un certain laps de temps, variable selon les caractéristiques des secteurs concernés, est nécessaire avant de voir l'effet des actions sur la qualité de l'eau. L'évolution des méthodes et des dispositifs de mesures permet aujourd'hui d'accéder à des paramètres dans des compartiments intermédiaires du milieu (Figure n°8), en amont des mesures aux exutoires. Il s'agit notamment des concentrations dans les eaux de ruissellement, dans les eaux de drainage ou encore dans les eaux d'infiltration sous racinaires. Cette partie vise à étudier les différents dispositifs qui pourraient permettre de connaître ces variables afin de les utiliser comme indicateurs d'effet des pratiques agricoles sur les différents types d'eau dans le but d'évaluer l'efficacité des actions mises en place.

### 3.1 Principes

#### 3.1.1 Objectifs des indicateurs d'effet

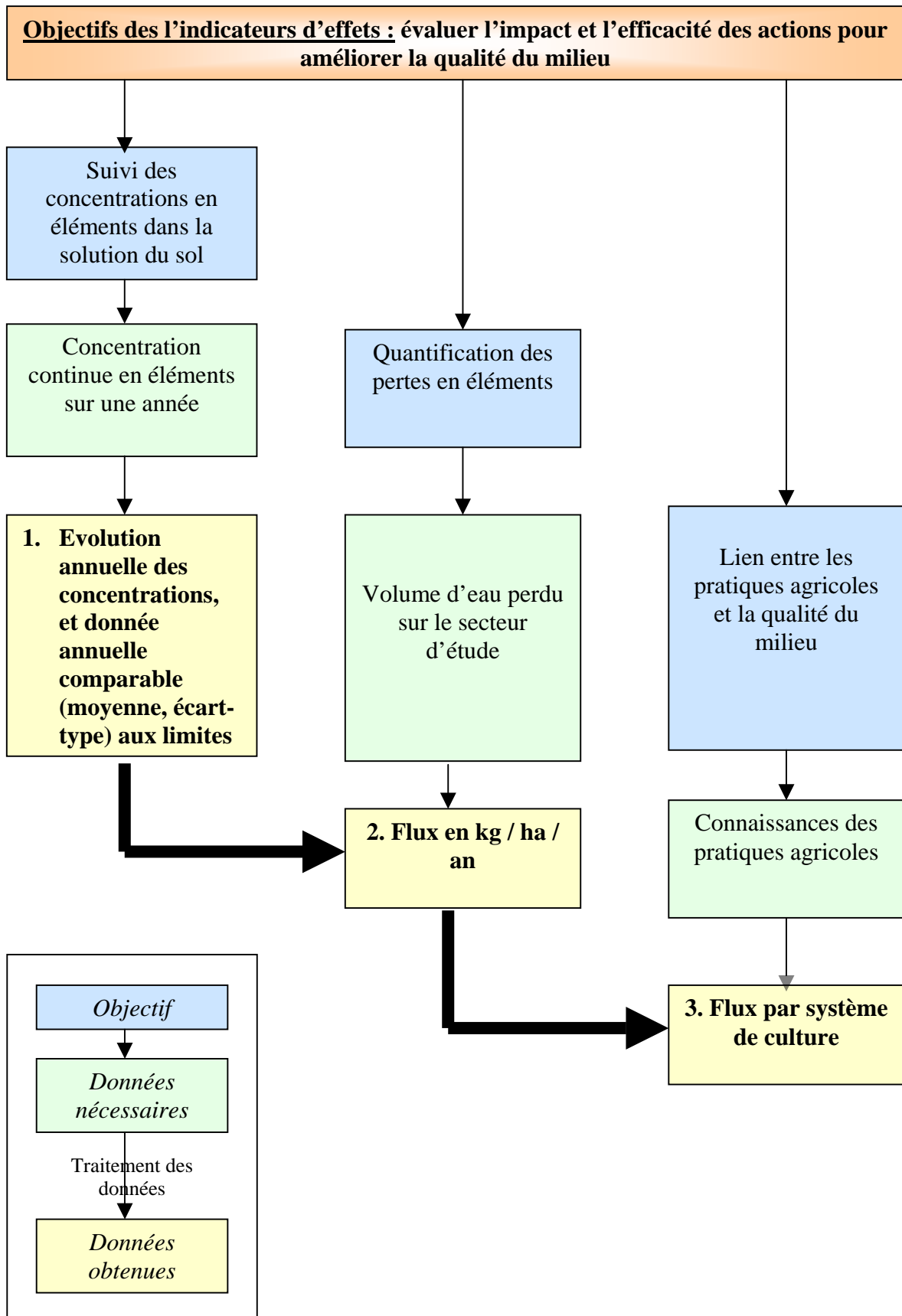
La finalité des indicateurs d'effets est d'évaluer **l'impact et l'efficacité des actions mises en place sur la qualité du milieu dans les plus brefs délais** en complétant les suivis existants. L'impact est une notion générale qui caractérise les conséquences des actions humaines sur le milieu naturel. L'efficacité est définie par rapport à des objectifs à atteindre, à des normes en vigueur. C'est une évaluation relative de l'impact.



Pour cela, plusieurs niveaux d'information peuvent être définis afin d'avoir un suivi pertinent de la qualité du milieu et de pouvoir l'utiliser pour orienter les actions à mettre en place (Figure n°9):

- ① **Suivi des concentrations** en éléments dans la solution du sol, hors du système racinaire, en amont du transfert vers les eaux souterraines et superficielles. Ce suivi pourrait permettre de prévoir les concentrations et des tendances de leur évolution aux exutoires d'un bassin versant. Le suivi annuel des concentrations permet d'estimer plus précisément les périodes à risques, la comparaison interannuelle permet de suivre leur évolution ;
- ② **Quantifier les pertes vers le milieu naturel** (= notion de flux) afin de les comparer aux apports. Pour cela, les volumes d'eau perdus doivent être connus ;
- ③ **Etablir le lien entre pratiques et qualité du milieu** : évaluation de l'impact des pratiques agricoles sur la qualité du milieu, sur les flux en éléments dans la solution du sol pour aboutir à une évaluation des pratiques à risques afin de les comparer (hiérarchisation des pratiques par rapport à des données de terrains) et de les améliorer si nécessaire.

Figure 9 : Objectifs et données nécessaires



### 3.1.2 Caractéristiques et données nécessaires en vue d'un suivi des actions

Tableau 4 : *Caractéristiques recherchées des méthodes et des indicateurs d'effet associés*

<p><b>Mise en œuvre et fonctionnement</b></p>	<p>⇒ Est-ce que le dispositif répond à des exigences techniques et économiques ?</p> <p><b>Comment mesurer ?</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Une méthode fiable, bien connue, dont les limites peuvent être maîtrisées ou contournées par rapport à l'objectif à atteindre ;</li> <li>◆ Une méthode de préférence non destructive et occasionnant peu de perturbations du milieu pour avoir un temps de remise en équilibre le plus faible possible ;</li> <li>◆ Une méthode au temps de réponse rapide ;</li> <li>◆ Une méthode permettant de faire de nombreuses répétitions afin de représenter la diversité du milieu et des situations ;</li> <li>◆ Un dispositif, dans l'idéal, peu coûteux, facile à mettre en place, peu contraignant dans son utilisation, sans gêne pour les pratiques agricoles.</li> </ul>
<p><b>Représentativité d'un prélèvement vis à vis du milieu concerné</b></p>	<p>⇒ Est-ce que le dispositif permet de mesurer les nitrates et les produits phytosanitaires dans une eau représentative d'un milieu ?</p> <p><b>Sur quoi mesurer ?</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Un dispositif de prélèvement de la solution du sol dont la représentativité de la solution prélevée soit valable d'un point de vue scientifique (origine, type d'eau) et reflètent la qualité du milieu ;</li> <li>◆ Un dispositif permettant de suivre en continu les nitrates et les produits phytosanitaires ;</li> </ul>
<p><b>Représentativité spatiale et temporelle d'un prélèvement vis à vis d'un bassin versant</b></p>	<p>⇒ Est-ce que la méthode prend en compte l'hétérogénéité spatiale et temporelle d'un secteur (bassin versant) ?</p> <p><b>Où et quand mesurer ?</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Un dispositif qui prend en compte une surface importante et représentative de la complexité et de la qualité du milieu ;</li> <li>◆ Une méthode reproductible dans le temps et dans l'espace pour faire un suivi interannuel basée sur plusieurs répétitions ;</li> </ul>
<p><b>Variables mesurées et exploitations</b></p>	<p>⇒ Est-ce que le dispositif permet de mesurer les concentrations et les volumes afin d'en déduire des flux et de faire des bilans ?</p> <p><b>Quels paramètres mesurer ?</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ un dispositif permettant de mesurer ou au moins d'estimer précisément les volumes drainés et les concentrations en éléments pour en déduire un flux drainé.</li> <li>◆ Un bilan hydrique possible pour faire un bilan complet des pertes sur le secteur ;</li> </ul>

L'indicateur d'effet « idéal » et le dispositif de mesure associé doivent répondre aux critères repris dans ce tableau. Les méthodes de mesure disponibles actuellement sont analysées selon quatre axes principaux regroupant les critères cités précédemment:

- ✓ le principe de la méthode et le dispositif utilisé,
- ✓ la mise en œuvre et le fonctionnement,
- ✓ la représentativité des prélèvements,
- ✓ les variables mesurées et leur exploitation.

Les annexes 10 à 14 détaillent chacune de ces parties et complètent la description des dispositifs avec d'autres aspects comme les données nécessaires et leur utilisation actuelle.

Cette analyse permet de réfléchir à la pertinence du dispositif et de l'indicateur d'effet obtenu en vue d'un suivi des actions mises en place. Les conditions d'utilisation sont ensuite définies pour déterminer les situations les plus adaptées à chaque dispositif. Elles vont dépendre du type d'action, du milieu rencontré et des moyens disponibles.

Cinq dispositifs sont ainsi étudiés puis comparés dans les parties suivantes.

## 3.2 Dispositif de suivi des eaux de ruissellement (Annexe 10)

### 3.2.1 Principe et dispositif

L'objectif de ces dispositifs est de collecter les eaux de ruissellement issues de parcelles agricoles. Les volumes d'eau ruisselée peuvent être mesurés ainsi que les concentrations en éléments.

En zone agricole, des dispositifs sont mis en place à l'extrémité des parcelles cultivées, qui doivent être dans l'idéal isolées hydrauliquement. Le système de collecte du ruissellement est constitué de tôles galvanisées reliées à des cuves de stockage des eaux de ruissellement via des tuyaux en PVC.

### 3.2.2 Mise en œuvre et fonctionnement

Tableau 5 : Mise en œuvre et fonctionnement des dispositifs de suivi des eaux de ruissellement

<b>Fiabilité technique</b>	Dispositif récent, non normalisé, peu utilisé
<b>Perturbation du milieu</b>	Peu importante, méthode non destructive
<b>Temps de réponse</b>	Rapide après un événement pluvieux engendrant du ruissellement
<b>Répétitions</b>	Limitées dans l'espace
<b>Mise en place</b>	Plus ou moins aisée selon les instruments et les précautions prises
<b>Suivi</b>	Irrégulier, en fonction des précipitations
<b>Gênes aux pratiques agricoles</b>	Limitées
<b>Coût d'installation et de suivi</b>	Plus ou moins élevé en fonction des caractéristiques du dispositif et de l'importance du suivi (1200 euros de mise en place environ + appareil de prélèvement et de mesure + analyse des échantillons)

Les dispositifs mis en place pour des expérimentations sont très équipés et nécessitent un suivi important. Des adaptations peuvent être apportées pour limiter les coûts et les



contraintes de mise en place mais le risque de perdre des informations et de limiter la fiabilité des données n'est pas négligeable. Ces dispositifs permettent des mesures à poste fixe sur des périodes de plusieurs années.

### 3.2.3 Représentativité des prélèvements

*Tableau 6 : Représentativité des prélèvements issus des dispositifs de suivi des eaux de ruissellement*

<b>Type d'eau collectée</b>	Les eaux de ruissellement
<b>Représentativité par rapport au type d'eau collectée</b>	Bonne
<b>Suivi des nitrates et des produits phytosanitaires</b>	Simultané si les volumes d'eau sont suffisants
<b>Surface prise en compte</b>	Relativement importante (plusieurs ares)
<b>Reproductibilité temporelle</b>	Oui mais de façon irrégulière, en fonction des précipitations
<b>Reproductibilité spatiale</b>	Limitée par les moyens à disposition (financiers et humains)

Ces dispositifs permettent de collecter et de caractériser les eaux de ruissellement issues de parcelles agricoles qui atteignent les eaux de surface. Les origines (pluviométrie et parcelle) étant connues, les données sont fiables si le dispositif est bien équipé (isolement hydraulique des parcelles, collecte des échantillons régulière). Si toutes les zones favorisant le ruissellement sont suivies, une bonne représentativité des pertes par ruissellement peut être obtenue au niveau d'un bassin versant.

### 3.2.4 Variables mesurées et exploitation

*Tableau 7 : Variables mesurées par les dispositifs de suivi des eaux de ruissellement et leur exploitation*

<b>Données brutes mesurées</b>	Concentrations en élément et, si le dispositif le permet, débit et volume d'eau ruisselée.
<b>objectif 1 : mesure des concentrations</b>	Oui
<b>objectif 2 : calcul des flux</b>	Oui si les volumes sont mesurés
<b>objectif 3 : lien avec les pratiques</b>	Oui si les volumes sont mesurés

Si les moyens financiers et humains sont suffisants, les trois objectifs peuvent être atteints de façon assez fiable. Néanmoins, l'interprétation des résultats n'est pas toujours évidente en raison des écarts importants de précipitations qui vont occasionner des événements pluvieux de plus ou moins grande intensité. Les volumes et les concentrations obtenus sont donc très variables. Sur une année, un bilan des pertes par ruissellement peut être établi en corrélation avec la pluviométrie et les pratiques culturales.

### 3.2.5 Conditions de mise en place

Ce dispositif ne peut être mis en place que dans des secteurs favorisant le ruissellement. Pour cela plusieurs conditions doivent être réunies :

- Parcelle à pente relativement importante ;
- Sol peu perméable où l'infiltration est lente ou nulle ;
- Absence de drainage.

Si des parcelles présentent ces caractéristiques sur un bassin versant, des dispositifs de suivi des eaux de ruissellement peuvent être mis en place. La taille du bassin versant va influencer le nombre de dispositifs à mettre en place pour faire un bilan complet et fiable des pertes par ruissellement.

Quelque soit le type d'action, si une zone à fort ruissellement est présente et si les volumes ruisselés sont conséquents, ce dispositif peut être mis en place pour suivre la qualité des eaux issues des systèmes de culture présents.

Il semble particulièrement bien adapté pour un suivi des modifications de pratiques dans les vignobles par exemple.

### **Pertinence pour le suivi d'une action**

**Cette méthode répond en partie aux critères de mise en œuvre recherchés notamment par rapport à un temps de réponse rapide et à une perturbation minimale du site de mesure. Par contre elle présente des gênes aux pratiques agricoles, elle ne peut être répétée de nombreuses fois dans l'espace en raison d'un coût relativement important.**

**Les principales limites de ce dispositif sont liées au phénomène de ruissellement. En effet, les zones qui pourraient être suivies sont limitées à celles où le ruissellement est relativement important, ce qui ne permet pas de suivre toutes les situations sur un bassin versant. Le ruissellement étant un phénomène temporaire et irrégulier, dépendant de nombreux paramètres (précipitations, type de sol,...), les comparaisons spatio-temporelles sont délicates et nécessitent des précautions. Il permet néanmoins de mesurer les concentrations en nitrates et en produits phytosanitaires simultanément dans les eaux de ruissellement issues d'une parcelle agricole.**

**Ce dispositif est intéressant à mettre en place pour établir un bilan complet des pertes en nitrates et en produits phytosanitaires à partir d'un système de culture. Pour cela, il doit être couplé à un dispositif de suivi des eaux de lixiviation. En effet il ne saurait évaluer précisément l'efficacité des actions mais il donne une information importante concernant les pertes réelles vers les eaux de surface.**

### 3.3 Les prélèvements de sol (Annexe 11)

#### 3.3.1 Principe et dispositif

Cette méthode est très simple, elle consiste à prélever un échantillon de sol à un endroit et à un moment donné afin d'en extraire la solution du sol à l'aide de différents solvants. Celle-ci est ensuite analysée pour connaître les concentrations en éléments présents.

Les concentrations ainsi obtenues peuvent être considérées séparément pour estimer un stock d'éléments dans le sol à un moment donné ou comparées entre elles pour évaluer des pertes éventuelles sur une période.

#### 3.3.2 Mise en œuvre

Tableau 8 : Mise en œuvre des prélèvements de sol

<b>Fiabilité technique</b>	Méthode très utilisée et bien connue
<b>Perturbation du milieu</b>	Méthode destructive
<b>Temps de réponse</b>	Rapide après extraction de la solution du sol
<b>Répétitions</b>	Nombreuses
<b>Mise en place</b>	Aucune, pas de poste fixe
<b>Suivi</b>	Plus ou moins lourd en fonction du nombre de répétition et des profondeurs de prélèvement
<b>Gênes aux pratiques agricoles</b>	Aucune
<b>Coût et suivi</b>	Plus ou moins important en fonction du nombre de répétition, des profondeurs de prélèvement et des instruments utilisés (60 euros pour une tarière manuelle, 8000 euros pour un autoporteur + déplacement + extraction et analyse)

Cette méthode ne présente pas de contraintes de mise en place ni de gênes aux pratiques agricoles. Destructive, elle ne permet pas un suivi à poste fixe mais ne rend pas prisonnier d'un site. Le nombre de répétitions peut être très important, il va dépendre principalement des moyens engagés pour faire une campagne de prélèvements ce qui rend cette méthode lourde à réaliser.

#### 3.3.3 Représentativité des prélèvements

Tableau 9 : Représentativité des prélèvements de sol

<b>Type d'eau collectée</b>	Le type d'eau extraite des prélèvements de sol va dépendre des solvants utilisés, plus ou moins forts
<b>Représentativité</b>	Moyenne pour l'eau mobile du sol, bonne pour évaluer le stock total d'éléments dans le sol à un moment précis
<b>Suivi des nitrates et des produits phytosanitaires</b>	La méthode est fiable pour les nitrates, beaucoup moins pour les produits phytosanitaires
<b>Surface prise en compte</b>	Très faible, prélèvement ponctuel d'une colonne de sol
<b>Reproductibilité temporelle</b>	Oui
<b>Reproductibilité spatiale</b>	Oui

Un prélèvement de sol donne des informations ponctuelles sur la qualité de l'eau qu'il contient en un endroit précis et à un moment donné. Seul la multiplication des prélèvements permet d'intégrer la variabilité spatiale d'un sol. La principale difficulté réside dans le choix de la méthode d'extraction de la solution du sol qui va définir le type d'eau obtenue et sa composition. Les mécanismes mis en jeu dans les sols étant très complexes de même que l'évolution permanente des éléments, il est difficile d'avoir des valeurs sûres, notamment pour les produits phytosanitaires encore mal connus.

### 3.3.4 Variables mesurées et exploitation

*Tableau 10 : Variables mesurées par les prélèvements de sol et leur exploitation*

<b>Données brutes mesurées</b>	Humidité pondérale, concentration en élément dans la solution du sol, densité apparente, quantité en éléments
<b>objectif 1 : concentration</b>	Oui
<b>objectif 2 : calcul des flux</b>	Non sauf par estimation des volumes et des quantités drainées pour les nitrates uniquement
<b>objectif 3 : lien avec les pratiques</b>	Non sauf par estimation des volumes et des quantités drainées pour les nitrates uniquement

Si les trois objectifs peuvent être atteints, ils le sont de façon ponctuelle et concernent des valeurs potentielles et estimées. En effet, la dynamique de l'eau et des éléments dans le sol n'est pas prise en compte par cette méthode qui renseigne sur les quantités présentes dans le sol en un point et à un moment donné. Leur exploitation est donc limitée de même qu'une extrapolation. Des estimations peuvent être faites pour les nitrates en utilisant le modèle de Burns qui simule les pertes en nitrates par lessivage. Si cette méthode a fait ses preuves, elle donne néanmoins des résultats simulés et non mesurés sur le terrain.

### 3.3.5 Conditions de mise en place

Les prélèvements de sol doivent être réalisés de préférence dans des sols profonds pour avoir des données sur un profil représentatif du milieu. Les sols caillouteux sont à éviter car les résultats obtenus ne sont pas fiables, de même que les sols superficiels où une faible profondeur est accessible. Les secteurs à infiltration rapide sont à favoriser car les résultats obtenus peuvent servir à la modélisation des concentrations dans les sources avec une bonne fiabilité.

Il est préférable de choisir un secteur de prélèvement où la pédologie est homogène pour limiter les écarts entre les résultats qui peuvent vite devenir difficiles à interpréter et surtout à comparer. Pour faciliter la mise en œuvre, ce type de suivi est envisageable sur de petits bassins versants voir sur une parcelle.

Les MAE et les CTE sont des actions qui pourraient être suivies par cette méthode car la surface concernée est réduite.

### Pertinence pour le suivi d'une action

Les données obtenues sont limitées dans le temps et dans l'espace, leur interprétation est délicate. Les informations obtenues restent très ponctuelles. Les concentrations mesurées dans les sols ne renseignent pas sur les concentrations susceptibles de se retrouver dans les eaux car la dynamique de l'eau dans le sol n'est pas prise en compte. La pertinence d'un suivi à partir de prélèvements de sol est donc limitée.

La méthode la moins lourde et la plus pertinente pour suivre les concentrations en nitrates semble être celle utilisant le modèle de Burns qui ne nécessite qu'un prélèvement de sol au début de l'hiver, avant la période de drainage. La modélisation qui peut être réalisée à partir de ces données pourrait permettre de s'affranchir du temps de latence hydrogéologique et de prévoir l'évolution des teneurs en nitrates dans les sources et de les comparer d'une année sur l'autre en prenant en compte les aléas climatiques. On obtient ainsi des pertes par hectares sur la période de drainage qui peuvent être ensuite reliées aux pratiques agricoles.

La complexité de l'évolution des produits phytosanitaires dans le sol rend cette méthode encore peu applicable dans ce contexte.

Si cette méthode est bien connue et utilisée, elle semble néanmoins peu adaptée pour un suivi à long terme d'action de reconquête du milieu.

## 3.4 Dispositif de suivi des eaux de drainage (Annexe 12)

### 3.4.1 Principe et dispositif

Le principe consiste à collecter les eaux issues d'un réseau de drainage afin d'en mesurer les débits et les concentrations en nitrates et produits phytosanitaires.

L'exutoire du réseau peut être capter par un dispositif avec des bacs équipés de débitmètres et de préleveurs.

### 3.4.2 Mise en œuvre et fonctionnement

*Tableau 11 : Mise en œuvre et fonctionnement d'un suivi des eaux de drainage*

<b>Fiabilité technique</b>	Dispositif non normalisé, utilisé en expérimentation
<b>Perturbation du milieu</b>	Aucune si les drains sont déjà en place
<b>Temps de réponse</b>	En fonction de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol
<b>Répétitions</b>	Limitées par la présence de réseaux de drainage
<b>Mise en place</b>	Simple pour une mesure de concentration, plus complexe pour la mesure des débits
<b>Suivi</b>	En période de drainage essentiellement, en fonction de la pluviométrie
<b>Gênes aux pratiques agricoles</b>	aucune
<b>Coût d'installation et de suivi</b>	En fonction des équipements mis en place

Cette méthode ne doit être envisagée que sur des parcelles déjà drainées depuis de nombreuses années dont les caractéristiques du réseau de drainage sont connues et précises. Dans ce cas, il n'y a aucune perturbation du milieu. Les eaux sont collectées à l'exutoire du réseau de drainage dont la surface drainée doit être définie assez précisément. Pour cela un isolement hydraulique des parcelles peut être mis en place. Les dispositifs de collecte et de prélèvement sont plus ou moins lourds et coûteux en fonction des données que l'on veut obtenir et des surfaces concernées qui sont à définir préalablement. La mise en place d'équipement automatique (échantillonneur, débitmètre), certes plus coûteux au départ, permet d'alléger le suivi et d'assurer sa régularité dans le temps. Un suivi à poste fixe peut être réalisé sur une longue période.

### 3.4.3 Représentativité des prélèvements

*Tableau 12 : Représentativité des prélèvements des eaux de drainage*

<b>Type d'eau collectée</b>	Les eaux drainées artificiellement
<b>Représentativité</b>	Bonne représentativité des eaux transférées vers les eaux de surface via le réseau de drainage ; à définir pour les eaux susceptibles de rejoindre les nappes.
<b>Suivi des nitrates et des produits phytosanitaires</b>	oui
<b>Surface prise en compte</b>	Assez grande (plusieurs hectares)
<b>Reproductibilité temporelle</b>	Oui
<b>Reproductibilité spatiale</b>	Oui si plusieurs réseaux de drainage sont présents sur le secteur étudié

L'étude des eaux issues d'un réseau de drainage donne des informations fiables sur la qualité des eaux qui rejoignent les eaux superficielles. Par contre, ces eaux peuvent différer des eaux de lixiviation en raison de l'augmentation de la vitesse d'infiltration occasionnée par les drains.

Ce dispositif a l'avantage d'intégrer l'hétérogénéité spatiale du milieu si les surfaces drainées sont suffisamment importantes. Le suivi peut se faire en continu sur toute la période de drainage en fonction de précipitations.

### 3.4.4 Variables mesurées et exploitation

*Tableau 13 : Variables mesurées par un suivi des eaux de drainage et leur exploitation*

<b>Données brutes mesurées</b>	Concentrations en éléments et si le dispositif le permet les débits et les volumes drainés
<b>objectif 1 : concentrations</b>	Oui
<b>objectif 2 : calcul des flux</b>	Oui si les volumes sont connus précisément et rapportés à une surface
<b>objectif 3 : lien avec les pratiques</b>	oui

Les concentrations peuvent être considérées comme fiables et comparées aux objectifs à atteindre (normes de potabilité). Si le dispositif est suffisant, les flux de pertes par drainage peuvent être calculés et rapportés aux pratiques agricoles. Le suivi en continu permet d'obtenir des valeurs annuelles qui pourront être comparées d'une année sur l'autre pour suivre l'évolution de la qualité de l'eau issue des réseaux de drainage. Il faut tenir compte des conditions climatiques qui peuvent engendrer des écarts importants d'une année sur l'autre.

### 3.4.5 Conditions de mise en place

La condition *sine qua non* à un suivi des eaux de drainage est la présence, depuis plusieurs années, d'un réseau de drainage sur la parcelle ou le secteur concerné. Les caractéristiques du réseaux (diamètre des drains, écartement, exutoire...) doivent être connues pour comprendre le fonctionnement hydrodynamique du sol. Ces éléments doivent être complétés par une connaissance hydrogéologique du secteur afin de déterminer la nature de l'eau transporter par les drains (excès d'eau issues des précipitations, eau de nappe,...).

Les petites parcelles sont les plus adaptées à ce type de dispositif, surtout si un suivi quantitatif est envisagé (dimensionnement des bacs de collecte). Cette méthode s'avère pertinente dans des secteurs où la majorité des surfaces est drainée.

Ce dispositif peut être mis en place pour suivre des secteurs sur des opérations Ferti-Mieux, pour la Directive Nitrate ou le PMPOA (épandage des effluents d'élevage) de même que sur des MAE ou des CTE.

#### Pertinence pour le suivi d'une action

**Le suivi des eaux de drainage apporte deux informations importantes :**

- **une connaissance de la qualité des eaux qui rejoignent les eaux superficielles *via* les réseaux de drainage ;**
- **une connaissance de la qualité des eaux susceptibles de rejoindre les eaux souterraines en l'absence de drainage.**

**Si la première information peut être déduite de façon fiable, des précautions liées au fonctionnement hydrogéologique des parcelles doivent être prises par rapport à la deuxième. Ces données permettent néanmoins de déterminer de façon relativement fiable la qualité du milieu traversé par les eaux de drainage en intégrant l'hétérogénéité spatiotemporelle.**

**Sur des secteurs drainés, le suivi qualitatif des eaux de drainage est relativement simple à mettre en place et semble pertinent pour évaluer l'efficacité d'une action à la fois vis à vis des nitrates et des produits phytosanitaires. Un suivi quantitatif est également envisageable, nécessitant un investissement supplémentaire, afin de connaître les flux en éléments issus du drainage et de pouvoir les comparer annuellement.**

**La principale limite de ce suivi réside dans les conditions d'applications. En effet, seules les parcelles drainées peuvent être suivies. Sur un bassin versant, d'autres dispositifs doivent donc être mis en place pour les parcelles non drainées et saines.**

## 3.5 Les lysimètres (*Annexe 13*)

### 3.5.1 Principe et dispositif

La lysimétrie permet d'établir un bilan complet de matière par la mesure directe des entrées et des sorties sur une colonne verticale de sol et d'évaluer les conséquences d'effets cumulatifs.

Un lysimètre est un dispositif qui isole, entre la surface du sol et une profondeur donnée, un volume de sol ou de terre et qui comporte à sa base un système de récupération des eaux drainées. Il permet de **collecter les eaux de lixiviation afin de mesurer les volumes d'eau drainée et les concentrations en éléments**. Les lysimètres qui nous intéressent dans cette étude sont les lysimètres *in situ*, et non ceux très utilisés en laboratoire comme des modèles réduits de la réalité. On étudiera parallèlement les lysimètres fermés et ouverts afin de les comparer.

#### ① Les lysimètres fermés

Les lysimètres fermés sont constitués d'une cuve étanche dans laquelle un sol ou une terre est mis à l'étude. Ils sont réalisés à partir de sols remaniés ou plus rarement construit autour de monolithes de sol ou de sous-sol en place. La face supérieure de cette cuve est exposée à l'action des agents atmosphériques, alors que les faces latérales empêchent tout échange avec l'extérieur. La face inférieure, équipée d'un système de récupération des eaux qui percolent, permet à l'expérimentateur de déterminer les caractéristiques de la solution évacuée par drainage [MULLER, 1990]. Ce dispositif est caractérisé par la nature du sol ou de la terre qui l'emplit, le régime climatique auquel il est soumis, l'occupation de sa surface et les traitements qui sont appliqués. Leurs dimensions sont diverses : en France, leur surface varie de 0.6 à 7 m<sup>2</sup> et leur profondeur de 0.2 à 2.5 m [GAURY, 1992].

#### ② Les lysimètres ouverts

Plus récemment des lysimètres dits ouverts ont été mis au point afin de simplifier la mise en œuvre. Ils sont dépourvus de parois latérales. Le volume de sol drainé n'est donc pas connu précisément. Une plaque drainante est placée à une profondeur donnée de façon horizontale par rapport à la surface du sol et munie d'un système de récupération des eaux de lixiviation comme les dispositifs précédents. Il existe deux types de lysimètres ouverts : les lysimètres ouverts à tension, équipés d'une plaque drainante pouvant être mise en dépression et les lysimètres ouverts sans tension, équipés d'une plaque drainante à écoulement gravitaire, qui fonctionnent comme les lysimètres fermés.



### 3.5.2 Mise en œuvre et fonctionnement

Tableau 14 : Mise en œuvre et fonctionnement des lysimètres

	<i>Lysimètre fermé</i>	<i>Lysimètre ouvert</i>
<b>Fiabilité technique</b>	Oui	Oui
<b>Perturbation du milieu</b>	Oui (sol reconstitué)	Non
<b>Temps de réponse</b>	Fonction de la durée de remise en équilibre du sol et de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol	Fonction de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol
<b>Répétitions</b>	Limitées	Limitées
<b>Mise en place</b>	Complexe	Complexe
<b>Suivi</b>	En fonction du temps ou des précipitations	En fonction du temps ou des précipitations
<b>Gênes aux pratiques agricoles</b>	Oui	Oui
<b>Coût d'installation et de suivi</b>	Elevé (23 000 à 46 000 euros/dispositif)	Elevé

La mise en œuvre de ces dispositifs est lourde et complexe. De nombreuses précautions doivent être prises, principalement pour les lysimètres fermés à sol reconstitué. Ces derniers fournissent des données fiables après un temps de remise en équilibre (une année voir plus). Ces dispositifs ne peuvent pas être placés en plein champ en raison des gênes que cela occasionnerait aux pratiques agricoles. Par contre, ils permettent de faire un suivi à poste fixe sur de très longues périodes.

### 3.5.3 Représentativité des prélèvements

Tableau 15 : Représentativité de prélèvements par lysimètres

<b>Type d'eau collectée</b>	Les eaux de lixiviation
<b>Représentativité</b>	Très bonne
<b>Suivi des nitrates et des produits phytosanitaires</b>	Oui si les volumes collectés sont suffisants
<b>Surface prise en compte</b>	Faible (quelques m <sup>2</sup> )
<b>Reproductibilité temporelle</b>	Oui
<b>Reproductibilité spatiale</b>	Limitée

Ces dispositifs permettent de collecter de façon fiable les eaux de lixiviation. Les dispositifs sans dépression sont ceux qui donnent les meilleures garanties, seule l'eau mobile du sol, correspondant à celle qui s'infiltré dans les nappes, est prélevée. Les lysimètres avec dépressions collectent également une fraction de l'eau immobile du sol.

Ces dispositifs n'intègrent pas une surface importante de sol et donnent donc des résultats ponctuels. Le suivi peut se faire en continu tant qu'il y a du drainage. L'évolution de la lame d'eau drainante est suivie de façon fiable et précise au cours du temps.

### 3.5.4 Variables mesurées et exploitation

Tableau 16 : Variables mesurées par les lysimètres et leur exploitation

	<i>Lysimètre fermé</i>	<i>Lysimètre ouvert</i>
<b>Données brutes mesurées</b>	Concentration en élément et volume drainé	Concentration en élément et volume drainé approximatif
<b>Objectif 1 : concentrations</b>	Oui	Oui
<b>Objectif 2 : calcul des flux</b>	Oui	Oui mais incertain
<b>Objectif 3 : lien avec les pratiques</b>	Oui	Oui mais incertain

Les lysimètres fermés sont les dispositifs qui donnent les résultats les plus fiables et les plus précis concernant les volumes d'eau drainés une fois que le sol a retrouvé sa structure initiale. Ils permettent donc de calculer les flux en éléments sans avoir recours à une estimation et ainsi d'en déduire l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux de lixiviation. Les lysimètres ouverts donnent accès de façon fiable aux concentrations en éléments mais les volumes drainés ne peuvent pas être rapportés précisément à une surface ce qui fausse les valeurs pour le calcul des flux.

### 3.5.5 Conditions de mise en place

L'installation des lysimètres, fermés ou ouverts, ne peut se faire que dans des sols assez profonds (environ 1 mètre) pour permettre la mise en place du dispositif.

Ces dispositifs apportent une réponse rapide et fiable dans les sols filtrants et homogènes. Les sols caillouteux, superficiels et drainés ne peuvent pas (ou difficilement) être équipés de lysimètres.

Un suivi à la parcelle est réalisé ce qui est adapté aux MAE et aux CTE. Si le nombre de dispositif est suffisant, une extrapolation sur un bassin versant est possible, s'il reste assez homogène dans les types de sol et les pratiques agricoles.

#### **Pertinence pour le suivi d'une action**

**Les lysimètres fermés permettent d'avoir des mesures de volumes et de concentrations dans l'eau drainée très fiables d'un point de vue scientifique. Ce sont des dispositifs permanents qui permettent de réaliser un maximum de mesures dans les meilleures conditions possibles. Ils peuvent servir de référence pour un milieu pédoclimatique donnée, à un niveau régional pertinent. Un bilan complet des pertes peut être calculé pour les écoulements verticaux. Associés à un dispositif de mesure des eaux des ruissellements, un bilan global des pertes sur une parcelle peut être établies. Les trois objectifs successifs peuvent être atteints si les pratiques culturales sont connues précisément. Hormis le coût et la lourdeur du dispositif, les lysimètres fermés permettent de faire un suivi et une évaluation fiable de l'efficacité des actions.**

**Les lysimètres ouverts apportent une information moins fiable par rapport aux volumes d'eau drainée. Seules les concentrations sont exploitables. Or il est possible d'obtenir les mêmes données avec des dispositifs moins coûteux et plus faciles à mettre en place, ce qui limite fortement son intérêt pour le suivi des actions.**

## 3.6 Les bougies poreuses (*Annexe 14*)

### 3.6.1 Principe et dispositif

L'objectif d'un dispositif avec des bougies poreuses est de suivre les **concentrations en éléments dans la solution du sol**, sous le système racinaire, susceptible de rejoindre les nappes. En effet, ces capteurs *in situ* permettent de récupérer à volonté des échantillons de cette solution pour en analyser la qualité. Placées en conditions réelles, les bougies poreuses fournissent des résultats qui peuvent être reliés aux pratiques, au type de sol et au climat rencontré.

Le principe de la bougie poreuse est simple : il s'agit de faire passer à l'aide d'une dépression, la solution du sol à l'intérieur d'une bougie en porcelaine poreuse située dans le sol ; l'eau entrée dans la bougie est ensuite aspirée [GAURY, 1992].

Une bougie poreuse est formée d'une cupule cylindrique creuse, généralement collée à un tube en PVC fermé hermétiquement par un bouchon par lequel passent un ou deux tubes capillaires. La cupule est composée d'un matériau poreux, céramique en général, supposé inerte chimiquement. L'extraction de la solution du sol s'effectue par application d'une dépression à l'intérieur de la bougie poreuse initialement vidée de son contenu. La dépression est créée par une pompe [MULLER J.C, 1992].

Il existe différents types de bougies poreuses et plusieurs modes d'implantation. Le matériau constitutif (céramique, téflon,...), la taille des pores et la dimension du corps poreux sont autant d'éléments conditionnant leur fonctionnement hydrique. Les modalités de mise en place vont jouer un rôle déterminant dans le fonctionnement physique du prélèvement. Deux possibilités existent pour disposer les bougies dans le sol : verticale ou horizontale. Cette distinction est faite dans les parties suivantes afin de pouvoir les comparer.

#### ① Les bougies poreuses verticales

La mise en place d'une bougie poreuse verticale peut se faire de la manière suivante : un trou de diamètre correspondant à celui des bougies poreuses est creusé à la tarière jusqu'à la profondeur désirée. La bougie est alors enfoncée verticalement. Une fois mise en place, une dépression est appliquée afin de faire passer la solution du sol à l'intérieur de la bougie ; l'eau entrée est ensuite aspirée et analysée.

#### ② Les bougies poreuses horizontales

En général, un dispositif de bougie horizontale comprend 7 capteurs répartis en étoile sur un cercle d'environ 3 m de diamètre, à 1 mètre de profondeur. Comme précédemment, une dépression est appliquée afin de faire passer la solution du sol à l'intérieur de la bougie ; l'eau entrée est ensuite aspirée et analysée.

### 3.6.2 Mise en œuvre et fonctionnement

Tableau 17 : Mise en œuvre et fonctionnement des bougies poreuses

	<i>Bougies poreuses verticales</i>	<i>Bougies poreuses horizontales</i>
<b>Fiabilité technique</b>	Moyenne	Moyenne
<b>Perturbation du milieu</b>	Minime mais risque d'écoulement préférentiel	Importante lors de la mise en place du dispositif
<b>Temps de réponse</b>	Rapide	Rapide après un temps de remise à l'équilibre du sol
<b>Répétitions</b>	Nombreuses (plusieurs au m <sup>2</sup> )	Limitées (7 par dispositif)
<b>Mise en place</b>	Simple	Complexe
<b>Suivi</b>	Régulier, en fonction du temps ou des précipitations, plus ou moins lourd selon le nombre de répétitions	Régulier, en fonction du temps ou des précipitations, plus ou moins lourd selon le nombre de dispositifs
<b>Gênes aux pratiques agricoles</b>	Oui	Non
<b>Coût d'installation et de suivi</b>	Fonction du nombre de bougies poreuses mises en place (40 à 60 euros/capteurs + collecte + analyse)	Elevé ( 5300 euros/fosse / an)

Si les bougies poreuses verticales sont simples d'utilisation et peu coûteuses, elles ne permettent pas de faire un suivi à poste fixe et sont une gêne importante aux pratiques agricoles. Les bougies poreuses horizontales ont des caractéristiques inverses : le milieu est fortement perturbé lors de leur mise en place et les coûts sont élevés. Par contre l'utilisation est simplifiée et les gênes aux pratiques agricoles très limitées. Un suivi à poste fixe est possible sur une longue période.

### 3.6.3 Représentativité des prélèvements

Tableau 18 : Représentativité des prélèvements par bougies poreuses

<b>Type d'eau collectée</b>	Les eaux de lixiviation
<b>Représentativité</b>	Moyenne en raison de la dépression appliquée
<b>Suivi des nitrates et des produits phytosanitaires</b>	Oui si les volumes prélevés sont suffisants
<b>Surface prise en compte</b>	Faible (quelques dm <sup>3</sup> autour de la bougie)
<b>Reproductibilité temporelle</b>	Oui
<b>Reproductibilité spatiale</b>	Oui

Les eaux collectées représentent l'eau mobile du sol et une fraction de l'eau immobile mobilisée par la dépression. Elles correspondent globalement aux eaux susceptibles de s'infiltrer vers les nappes. L'hétérogénéité du milieu peut être prise en compte si le nombre de répétition est suffisant mais cela reste une association de données ponctuelles.

Les bougies poreuses verticales peuvent être mises en place sur une multitude de sites mais pour de courte période (entre les pratiques agricoles) alors que les bougies poreuses horizontales, plus limitées dans le nombre de sites, permettent un suivi en continu sur plusieurs années. Ces dispositifs ne permettent pas de suivre l'évolution de la lame d'eau drainante car les prélèvements sont faits de manière ponctuelle. Toute l'eau qui s'infiltre n'est pas collectée par les bougies. Les prélèvements doivent être suffisamment rapprochés dans le temps pour limiter les pertes d'informations. Si cette méthode a fait ses preuves pour le suivi des nitrates, des études sont en cours par rapport aux produits phytosanitaires car un phénomène d'adsorption sur la céramique est possible ce qui modifierait les concentrations dans les solutions prélevées.

### 3.6.4 Variables mesurées et exploitation

Tableau 19 : Variables mesurées par les bougies poreuses et leur exploitation

<b>Données brutes mesurées</b>	Concentration en élément
<b>Objectif 1 : concentrations</b>	Oui
<b>Objectif 2 : calcul des flux</b>	Non sauf avec une estimation des quantités drainées
<b>Objectif 3 : lien avec les pratiques</b>	Non sauf avec une estimation des quantités drainées

Ces dispositifs permettent d'avoir accès aux concentrations en éléments dans les eaux de lixiviation mais pas aux volumes d'eau drainée. Ces derniers peuvent être estimés à partir de modèles comme le modèle de Burns pour les nitrates afin d'en déduire les flux en kg/an. Sur des secteurs homogènes, les concentrations obtenues ponctuellement peuvent être utilisées et associées aux surfaces concernées et aux pratiques culturales, ce qui peut permettre une extrapolation à l'échelle d'un bassin versant (si les principales situations sont suivies). Les dispositifs expérimentaux ont montré des écarts-types importants dans les résultats obtenus dont il faut tenir compte dans l'interprétation des résultats. Les moyennes peuvent être sujettes à contreverse.

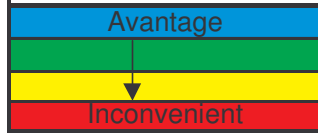
### 3.6.5 Conditions de mise en place

Les conditions de mise en place des bougies poreuses horizontales sont très similaires à celles des lysimètres. En effet, elles ne peuvent être mises en place que dans des sols assez profonds (environ 1 mètre), filtrant pour avoir une réponse rapide et fiable et relativement homogène sur la zone recouvrant les 7 bougies en étoile. Les sols caillouteux, superficiels et drainés ne peuvent pas (ou difficilement) être équipés de bougies poreuses horizontales.

Les conditions de mise en place des bougies poreuses verticales sont moins contraignantes. La profondeur du sol peut être plus ou moins importante, l'homogénéité du sol n'est pas indispensable dans l'absolu, les prélèvements étant ponctuels. Étant un dispositif mobile, le choix des sites n'est pas définitif.

Un suivi à la parcelle est réalisé ce qui est adapté aux MAE et aux CTE. Si le nombre de dispositifs est suffisant, une extrapolation sur un bassin versant est possible, s'il reste assez homogène dans les types de sol et les pratiques agricoles.

**Tableau 21 : Comparaison des dispositifs**



Dispositifs	Suivi des eaux de ruissellement	Prélèvement de sol	Suivi des eaux de drainage	Lysimètre		Bougie poreuse	
				Ouvert	Fermé	Verticale	Horizontale
<b>Mise en œuvre</b>							
Fiabilité technique							
Perturbation							
Temps de réponse							
Répétition							
Mise en place							
Suivi							
Gênes aux pratiques							
Coût							
<b>Représentativité des prélèvements</b>							
Type d'eau collectée	eau de ruissellement	solution du sol	eau de drainage	eau de lixiviation		eau de lixiviation	
Représentativité							
Suivi des nitrates et des produits phytosanitaires							
Surface concernée							
Reproductibilité temporelle							
Reproductibilité spatiale							
Suivi à poste fixe							
<b>Variables mesurées et exploitation</b>							
Données brutes	Concentration et volume	Concentration	Concentration et volume	Concentration	concentration et volume	concentration	concentration
Evolution des concentration							
Calcul des flux							
lien avec les pratiques							
Extrapolation							

### **Pertinence pour le suivi d'une action**

**Cette méthode est relativement bien connue mais elle présente des limites liées au dispositif lui-même encore non maîtrisables. Elle présente une grande variabilité liée à la fois au fonctionnement individuel des bougies, au contact avec le sol et aux propriétés du sol qui vont influencer fortement les résultats obtenus.**

**La représentativité de la solution du sol prélevée par les bougies restent encore incertaine dans de nombreux cas notamment en raison de la mise sous tension des bougies et des écoulements préférentiels possibles. Les concentrations en nitrates et en produits phytosanitaires peuvent être mesurées simultanément si les volumes collectés sont suffisants.**

**Les bougies poreuses horizontales semblent plus appropriées pour réaliser le suivi d'une action que les bougies poreuses verticales. Elles sont déjà utilisées dans le cadre d'un réseau de suivi de la qualité de l'eau des eaux issues de divers systèmes culturaux mis en place par l'INRA sur la base d'une typologie régionale des situations rencontrées. Ce réseau pourrait être complété par de nouveaux sites qui permettraient de suivre l'évolution des actions et d'avoir une évolution régionale des pertes en nitrates et en produits phytosanitaires.**

**Ce dispositif est intéressant dans la mesure où les principales situations rencontrées sur un bassin versant peuvent être suivies. Une extrapolation pourrait être faite si la proportion de chaque situation est connue sur le secteur étudié pour évaluer l'ensemble des flux.**

### 3.7 Comparaison des dispositifs

Après avoir étudié chaque dispositif, ils peuvent être comparés en fonction des critères définis au départ. La comparaison reste délicate car tous les dispositifs ne suivent pas le même type d'eau comme le montre le tableau 20.

*Tableau 20 : Dispositifs et types d'eau suivie*

<b>Dispositifs de mesures</b>	<b>Types d'eau suivie</b>
Dispositif de suivi des eaux de ruissellement	Eaux de ruissellement
Prélèvement de sol	Solution du sol
Dispositif de suivi des eaux de drainage	Eaux de drainage
Lysimètre ouvert	Eaux de lixiviation ( eau gravitaire +/- eau capillaire)
Lysimètre fermé	Eaux de lixiviation (eau gravitaire)
Bougie poreuse verticale	Eaux de lixiviation (eau gravitaire et capillaire)
Bougie poreuse horizontale	Eaux de lixiviation (eau gravitaire et capillaire)

Le *Tableau 21 : comparaison des dispositifs* reprend tous les critères par dispositifs.

Il permet de les comparer les uns par rapport aux autres afin de mettre en avant leurs avantages et leurs inconvénients. Un code couleur a été choisi allant du bleu (avantage) au rouge (inconvénient) en passant par le vert et le orange.

Finalement, le tableau 22 résume les différents dispositifs étudiés, les variables qu'ils mesurent et les indicateurs d'effet obtenus.

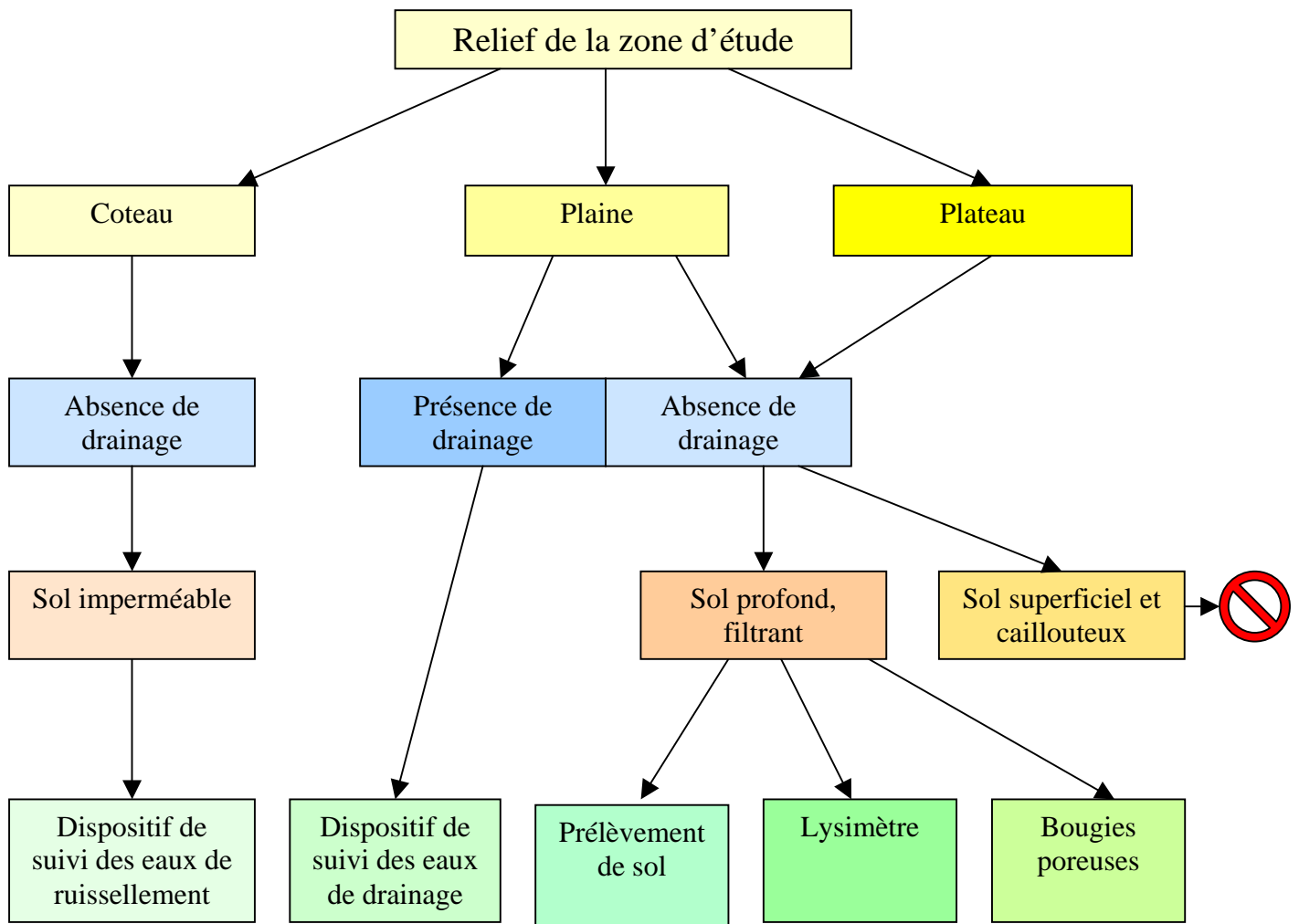
*Tableau 22 : Dispositifs de mesure et indicateurs d'effet obtenus*

<b>Dispositifs de mesures</b>	<b>Variables mesurées</b>	<b>Indicateurs d'effet obtenu</b>
Dispositif de suivi des eaux de ruissellement	Volume et concentration en élément	Flux en élément dans les eaux ruisselées
Prélèvement de sol	Concentration plus ou moins totale dans le sol	Quantité en élément potentiellement lessivable ou estimation des quantités lessivées
Dispositif de suivi des eaux de drainage	Volume et concentration en élément	Flux en élément dans les eaux drainées
Lysimètre ouvert	Volume incertain et concentration en élément	Concentration
Lysimètre fermé	Volume et concentration	Flux en élément dans les eaux lixiviées
Bougies poreuses verticales	Concentration	Concentration en éléments dans les eaux lixiviées
Bougies poreuses horizontales	Concentration	Concentration en élément dans les eaux lixiviées.



Les caractéristiques du secteur à suivre vont être déterminants dans le choix du dispositifs comme le montre la figure 10.

Figure 10 : Choix du dispositif en fonction de la zone d'étude



## En résumé

Après avoir étudié chaque dispositif envisageable pour réaliser le suivi des actions, quatre semblent particulièrement pertinents :

- Le dispositif de suivi des eaux de ruissellement permet de suivre les pertes réelles vers les eaux superficielles issues d'écoulements de surface, les flux peuvent être calculés et relier aux pratiques culturales si l'équipements est suffisant ;
- Le dispositif de suivi des eaux de drainage permet de suivre les pertes réelles vers les eaux de surface et, par approximation, de connaître la qualité des eaux potentiellement lessivables en intégrant l'hétérogénéité du milieu ;
- Les lysimètres fermés sont les dispositifs de suivi des eaux de lixiviation les plus fiables mais également les plus coûteux et les plus lourds à mettre en place. Ils permettent néanmoins d'acquérir des valeurs qui peuvent servir de référence pour un type de milieu.
- Les bougies poreuses semblent être une bonne alternative pour suivre de façon relativement fiable les concentrations dans les eaux de lixiviation à moindre coût par rapport aux lysimètres fermés.

Ces dispositifs sont complémentaires, exceptés les lysimètres et les bougies poreuses qui suivent tous les deux les eaux de lixiviation. L'association des trois dispositifs permet de suivre un grand nombre de situations sur un bassin versant et d'établir un bilan complet des pertes en nitrates et produits phytosanitaires.

## 4 Discussion

### 4.1 A propos des actions et de leur suivi

Depuis les années 1990, de nombreuses actions ont été engagées pour limiter les pollutions d'origine agricole. Des moyens financiers et humains très importants ont été investis pour atteindre les objectifs fixés notamment par la Directive Nitrates. Lors de cette étude, la complémentarité des actions mais également leur chevauchement et leur complexité ont été mises en évidence. La logique de ces actions suit bien souvent une obligation de moyens (la modification des pratiques) plus qu'une obligation de résultats (amélioration de la qualité du milieu). Si cette logique évolue actuellement, elle semble être à l'origine du manque de suivi de l'impact des actions sur la qualité du milieu.

En effet, l'analyse des différents modes de suivi des actions a montré que seules les pratiques agricoles étaient soumises à une évaluation en faisant l'hypothèse qu'une amélioration des pratiques devrait engendrer une amélioration de la qualité du milieu. Or, dans de nombreux cas, aucun impact significatif sur la qualité de l'eau n'a été observé même après plusieurs années. Le suivi des modifications de pratiques, seul, peut donc être remis en cause. Celui-ci étant basé principalement sur des enquêtes, la représentativité et la fiabilité des résultats peuvent être sujettes à caution, notamment dans le cas d'actions menées sur de grandes surfaces avec de nombreux intervenants. Lors d'un stage précédent à la Chambre d'agriculture de Moselle, ce point m'avait déjà interpellé sans qu'aucune réponse ne soit apportée vu qu'aucun suivi de la qualité du milieu n'était réalisé. Il semble surprenant de mettre en place autant d'actions et de moyens sans avoir intégré un suivi fiable et réel de la qualité du milieu. Pourtant ce suivi est préconisé, théoriquement, par le guide d'évaluation publié par le CORPEN<sup>3</sup> pour les opérations Ferti-Mieux. Le manque de moyens financiers et humains, le manque de motivation de la part des intervenants ou encore la complexité d'un tel suivi pourraient expliquer son absence.

### 4.2 A propos des attentes de l'agence de l'eau Rhin-Meuse

L'agence de l'eau Rhin-Meuse souhaiterait donc combler cette lacune. C'est pour cela qu'une étude sur les indicateurs « intermédiaires » d'effet des modifications de pratiques sur la qualité du milieu a été réalisée. En tant que financeur principal, elle s'intéresse à l'efficacité des actions pour deux raisons majeures :

- une justification de leur financement auprès des administrateurs et des contribuables ;
- une réorientation éventuelle des actions pour aller plus loin et atteindre les objectifs fixés.

Les divisions agriculture et milieu naturel se sont donc associées pour me permettre de réaliser cette étude. Leurs attentes initiales étaient simples : trouver un indicateur d'effet permettant de suivre la qualité du milieu sur de courte période avec une bonne fiabilité et une bonne représentativité, à moindre coût, si possible. Cette volonté d'aller plus loin dans le suivi des actions est tout à fait justifiée mais elle paraît aujourd'hui assez ambitieuse.

---

<sup>3</sup> Comité de pilotage national des opérations Ferti-Mieux

### 4.3 A propos des moyens de suivi « intermédiaires »

En effet, les **moyens actuels** qui pourraient permettre de réaliser un tel suivi sont issus des laboratoires de recherche comme l'INRA ou les Instituts Techniques. Leurs objectifs premiers sont d'étudier le milieu et de comprendre son fonctionnement. Leur utilisation a généralement été faite dans des conditions bien précises où un maximum de variables pouvait être connu précisément et avec des moyens de suivi et d'analyse suffisants. Ces dispositifs relèvent encore aujourd'hui de la recherche fondamentale et leur application à des cas concrets comme le suivi d'une action me semblent encore prématuré.

Chaque dispositif étudié concerne des **compartiments encore mal connus**. Le sol, notamment, est un compartiment très complexe, mettant en jeu de nombreux paramètres qui interagissent entre eux. Beaucoup d'interrogations restent encore sans réponse et sont actuellement du domaine de la recherche. A la méconnaissance du sol s'ajoute celle de l'évolution des éléments dans le milieu naturel, le système se complique alors encore un peu plus. Cette remarque est particulièrement valable pour les nouveaux produits phytosanitaires dont on ignore tout du comportement dans le sol et dans l'eau. Or il est indispensable d'avoir ces connaissances pour pouvoir suivre l'évolution des éléments dans le sol. Cette étude touche ainsi les limites de la recherche et soulève de nombreuses questions encore irrésolues.

Le **suivi simultané des nitrates et des produits phytosanitaires** n'est pas toujours évident avec les dispositifs étudiés. Le volume d'eau prélevé et les dates de suivi sont les principales limites. En effet, si les méthodes d'analyse des nitrates sont bien connues et peu coûteuses, ce n'est pas le cas pour les produits phytosanitaires. Des volumes d'eau importants sont souvent nécessaires pour pouvoir détecter un maximum de substances et les coûts sont très élevés. En premier lieu, il est sûrement préférable de mettre en place un suivi des nitrates pour vérifier le bon fonctionnement du dispositif et ensuite, si le dispositif le permet, d'envisager un suivi des produits phytosanitaires utilisés sur le secteur d'étude.

Des **rencontres avec les experts** de ces méthodes ont montré l'écart qui persiste entre la recherche et les organismes de terrains. Si pour les chercheurs, les méthodes semblent peu fiables et nécessitent une bonne connaissance de tous les paramètres du milieu, elles peuvent néanmoins convenir pour avoir des informations globales sur un secteur dans le cadre d'une utilisation concrète. Il est donc difficile de se faire un avis sur la fiabilité des dispositifs. D'autant plus que chaque chercheur a ses propres critiques, ses préférences et ses exigences. Plus de concertation, entre eux et avec les organismes professionnels devraient permettre de diffuser plus largement les connaissances et de faciliter leur application.

Pour palier aux insuffisances des dispositifs expérimentaux, des nombreux travaux portent actuellement sur la **modélisation des flux d'éléments dans le sol**, de leur application au champ à leur dispersion dans le milieu naturel. Si ces modèles existent, ils sont encore loin d'être fiables sur des secteurs géographiques variés, l'hétérogénéité du milieu est la principale limite à leur utilisation. C'est pourquoi, ils n'ont pas été traités dans cette étude. Par contre, la collecte de données à partir de dispositifs *in situ* pourrait être mise à profit pour la validation et le calage de modèles afin d'aboutir à un modèle polyvalent, utilisable pour évaluer l'efficacité des actions.

Vu que la recherche ne cesse d'avancer, les dispositifs de mesure évolueront constamment et des interrogations viendront toujours limiter leur utilisation. Or le suivi de la qualité du milieu apparaît aujourd'hui comme une obligation et n'est-il pas plus intéressant de mettre en place des dispositifs de mesure en connaissant leurs limites que de ne rien mettre ? Comme pour beaucoup de projet ambitieux, une des barrières principales sera les moyens financiers et humains mis à disposition pour un tel suivi. Vu les doutes existants sur la fiabilité des mesures, une deuxième question se pose, faut-il engager autant de moyens dans un suivi qui risque d'être sujet à contre verse ou les investir dans d'autres actions ?

Pour un organisme comme l'agence de l'eau, **l'intérêt des indicateurs d'effet** va au-delà de leur intérêt scientifique. En effet, leur mise en place permettrait d'aller plus loin dans les actions en impliquant d'avantage les acteurs grâce à un suivi plus concret. Les agriculteurs notamment pourront comprendre et suivre sur le terrain l'impact de leurs pratiques et ainsi se positionner par rapport aux objectifs à atteindre. La comparaison des pratiques sera possible sur un même secteur si un nombre suffisant de situations est suivi. Pour les gestionnaires de l'eau, les résultats pourront appuyer leurs préconisations et permettre de mieux les orienter si nécessaires. L'application des méthodes jusqu'à lors principalement utilisées pour la recherche pourra renforcer les liens avec les organismes professionnels. Le dialogue entre les différents intervenants pourra se faire autour de valeurs de terrain qui, malgré les incertitudes possibles, sont les seules à pouvoir apporter des réponses concrètes aux interrogations actuelles. Les agriculteurs sont aujourd'hui considérés comme des « producteurs d'eau sous-racinaire » ce qui donne une autre dimension à leur travail que la société doit soutenir.

## CONCLUSION

La qualité de l'eau potable distribuée en France est une préoccupation grandissante des consommateurs à laquelle des réponses doivent être apportées. Un des principaux secteurs visé est l'agriculture avec les risques, toujours présents, de pollution de la ressource en eau par les nitrates et les produits phytosanitaires. Le bassin Rhin-Meuse n'est pas épargné par cette problématique et de nombreuses actions de reconquête du milieu ont été mises en place.

Une des difficultés actuelles est de connaître l'impact de ces actions sur le milieu. Ne pouvant pas faire abstraction de son inertie à la fois agronomique et hydrogéologique, les changements sont parfois difficiles à observer sur la qualité de l'eau.

Or la recherche dispose aujourd'hui de dispositifs qui se positionnent à un niveau intermédiaire c'est à dire en amont de l'exutoire d'un bassin versant qui pourraient permettre de suivre l'évolution du milieu sur de plus courtes périodes.

Si les dispositifs permettant de suivre les eaux de lixiviation comme les lysimètres ou les bougies poreuses horizontales semblent apporter une réponse fiable et adaptée, en prenant les précautions nécessaires, les prélèvements de sol et les bougies poreuses verticales ne paraissent pas appropriés au suivi d'une action. Pour établir un bilan complet des pertes sur un secteur, les eaux de ruissellement et les eaux de drainage peuvent également être suivies avec deux dispositifs pertinents. Le caractère expérimental de tous ces dispositifs et donc des indicateurs d'effets qui leurs sont associés est la limite majeure à une mise en place à grande échelle. De nombreux paramètres sont à étudier et à prendre en compte dans leur utilisation.

Ils constituent néanmoins le seul moyen de mesurer sur le terrain l'impact des pratiques agricoles en devançant l'effet à l'exutoire. Le suivi des nitrates et des produits phytosanitaires à un niveau intermédiaire comme la zone sous racinaire permet de prévoir l'évolution de la qualité de l'eau dans les aquifères puis dans les sources et les cours d'eau. De même, le suivi des eaux de ruissellement et des eaux de drainage apporte une information essentielle sur les transferts directs vers les eaux superficielles.

Cette étude a permis de détailler chaque dispositif afin de voir leurs avantages et leurs limites et de pouvoir les comparer. Les conditions de mise en place et de choix de l'indicateur ont été définies, une application sur un cas concret est maintenant envisageable pour tester la mise en place et l'efficacité d'un tel suivi en conditions réelles.

## Bibliographie

- Agence de l'eau Rhin-Meuse, 2000, *Schéma Directeur d'aménagement et de gestion des eaux*.
- AREL, AERM, 2001, *Guide pratique : Produits phytosanitaires et risques de pollution ponctuelles*, 30 p.
- BERNARD PY., 2000, *Ferti-Mieux en région Lorraine : Quel impact sur la qualité des eaux souterraines ?*, INRA-Chambre d'agriculture de Lorraine, 55p.
- DIREN Alsace, 2000, *Qualité des cours d'eau d'Alsace en 1999*, 50 p.
- DIREN Lorraine, 2000, *Qualité des cours d'eau lorrains en 1999*, 23 p.
- GAURY F., 1992, *Système de culture et teneurs en nitrates des eaux souterraines*, INRA, 233 p.
- GOUJON A.L., LAPUYADE F, 2001, *Réseau de bassin des eaux souterraines : rapport d'analyse technique des données avril 1999 – mars 2000*, AERM, 47 p.
- INRA, 1998, *Incidence des pratiques phytosanitaires agricoles sur la qualité des eaux souterraines*, rapport de fin de contrat, 26p.
- LANQUETUIT D., SEBILLOTTE M., 1997, *Protection de l'eau : le guide Ferti-Mieux pour évaluer les modifications de pratiques des agriculteurs*, ANDA, Paris, 179 p.  
**21765 RM**
- MANSARD Marie-Lise, 2000, *Evaluation des opérations Ferti-Mieux dans le bassin Rhin-Meuse*, AERM, 42 p.  
**24086 RM**
- MULLER J.C., 1992, *Trente ans de lysimétrie en France 1960-1990*, COMIFER – INRA édition, 290 p.  
**21389 RM**
- Région Alsace – Initiative communautaire INTERREG II, 2000, *Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin Supérieur 1996/1997*, 191 p.
- RIOU Claire, 2002, *Les produits phytosanitaires dans les eaux de surface du bassin Rhin-Meuse 1997-2000*, note de service, 9 p.
- ROUYER X., 2000, *Suivi et évaluation des pratiques agricoles suite à l'application de la Directive Nitrates en Moselle*, Chambre d'agriculture de la Moselle, 69 p.  
**23690/3 RM**
- SEBILLOTTE M., 1999, *Agriculture et risques de pollution diffuse par les produits phytosanitaires*, INRA, *Le courrier de l'environnement* n°37.

### Pour en savoir plus sur la problématique des nitrates...

● Ministère de l'agriculture et de l'environnement, 1991, *Cahier des charges détaillé des opérations de conseil aux agriculteurs en vue de protéger l'eau contre la pollution nitratée*, Mission eau nitrates, 69 p.

● Chambre régionale d'agriculture Lorraine, 1998, *Comptes rendu de l'académie d'agriculture de France : Gestion des sols et qualité des eaux – Situation et examen des actions menées en Lorraine*, 199 p.

**23168 RM**

● LEMAIRE G., NICOLARDOT B., 1996, *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, INRA éditions, 332 p.

● Journal officiel des Communautés européennes, 1991, *Directive du conseil du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles*, 91/676/CEE, N° L 375/1.

● SEBILLOTTE J., 1991, *La directive nitrates et ses enjeux*, COURANTS, n°12, p 64-70.

**16635 RM**

### Pour en savoir plus sur la problématique des produits phytosanitaires...

● IFEN, 2000, *Pesticides dans les eaux : bilan 1997-1998*, IFEN Orléans, 15 p.

● SCHIAVON M., 1998, *Traitements phytosanitaires et qualité des eaux de drainage*, ENSAIA Nancy, 17 p.

● BALLAND P., 1996, *Suivi de la qualité de l'eau par rapport aux produits phytosanitaires*, MISE, 80 p.

### Pour en savoir plus sur les indicateurs de suivi de la qualité du milieu...

● ITADA (Institut Transfrontalier d'Application et de développement Agronomique), 2001, *Agriculture durable : Peut-on mesurer les prestations environnementales des exploitations agricoles ?*, Actes du Forum ITADA.

● ANTOINE V., 1998, *Traitements phytosanitaires et qualité des eaux de drainage*, Agence de l'eau et Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 51 p.

● ITCF, Agences de l'eau, 1998, *Etude de l'efficacité de dispositifs enherbés*, Les Etudes des Agences de l'eau n°63, 29 p.



---

<h2>Liste des annexes</h2>
----------------------------

- Annexe 1 : Présentation de l'agence de l'eau Rhin-Meuse
- Annexe 2 : Suivi de la qualité des eaux sur le bassin Rhin-Meuse
- Annexe 2a : Réseau national de bassin (RNB)
- Annexe 2b : Réseau de bassin des eaux souterraines (RBES)
- Annexe 2c : Exploitation des données : le SEQ-eau
- Annexe 3 : Qualité des eaux superficielles en Lorraine
- Annexe 4 : Fiche descriptive des produits phytosanitaires les plus fréquents
- Annexe 4a : L'atrazine
- Annexe 4b : Le diuron
- Annexe 4c : L'isoproturon
- Annexe 5 : Qualité des eaux souterraines sur le bassin Rhin-Meuse
- Annexe 6 : La directive Nitrates sur le bassin Rhin-Meuse
- Annexe 7 : Les opérations Ferti-Mieux sur le bassin Rhin-Meuse
- Annexe 8 : La protection des captages AEP sur le bassin Rhin-Meuse
- Annexe 9 : Le suivi des opérations Ferti-Mieux
- Annexe 10 : Dispositif de suivi des eaux de ruissellement
- Annexe 11 : Les prélèvements de sol
- Annexe 12 : Dispositif de suivi des eaux de drainage
- Annexe 13 : Les lysimètres
- Annexe 14 : Les bougies poreuses

## Annexe 1 : Présentation de l'Agence de l'eau Rhin-Meuse

L'Agence de l'eau Rhin-Meuse est un établissement public de l'Etat à caractère administratif, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière, créé par la loi sur l'eau de 1964.

Sa mission principale est d'aider financièrement et techniquement les opérations d'intérêt général au service de l'eau et de l'environnement du bassin : la lutte contre la pollution des eaux, la protection et la restauration des ressources en eau (rivières et nappes) et des milieux aquatiques naturels. Elle est chargée de faciliter les actions d'intérêt commun au bassin (études, recherches, ouvrages...).

Pour ce faire, il lui faut connaître le milieu naturel, définir les solutions techniques, planifier, programmer, suivre les interventions, informer, sensibiliser... c'est le rôle des 200 professionnels qui travaillent à l'agence de l'eau.

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse intervient dans le cadre de programmes d'intervention de cinq ans préparés et validés par le conseil d'administration et le comité de bassin. L'actuel programme 1997-2001 porte en priorité sur la dépollution des eaux usées domestiques.

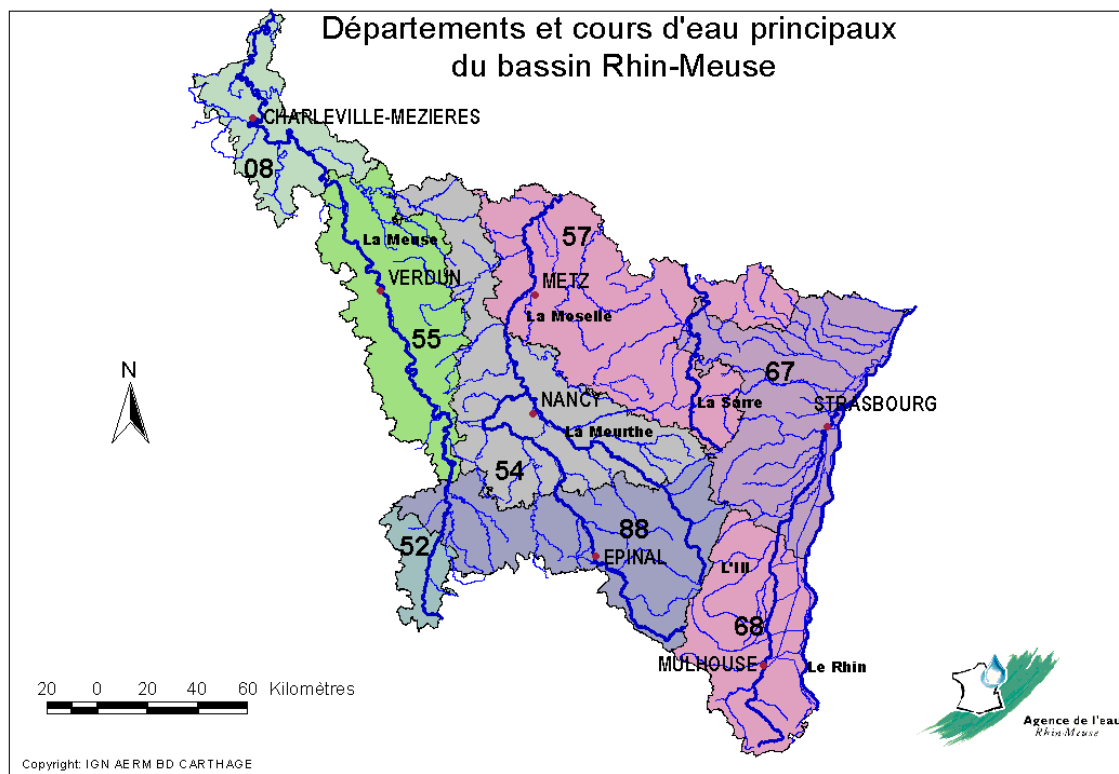
Ce sont des sommes importantes qui sont consacrées à travers l'agence de l'eau à la reconquête des eaux du bassin Rhin-Meuse, de l'ordre de 182.94 M€ par an. Chaque habitant contribue individuellement à cette action au service de l'intérêt commun et de l'environnement au travers du prix de l'eau : en effet, pour un litre d'eau prélevé et rejeté au milieu naturel, l'usager du bassin Rhin-Meuse paie un prix moyen de 0.02 € dont un peu plus de 0.45 cent à l'agence de l'eau Rhin-Meuse pour la dépollution.

Les recettes de l'Agence sont des redevances qu'elle perçoit sur les usagers de l'eau (habitants, acteurs économiques) selon le principe "pollueur-payeur" et qu'elle redistribue sous forme d'aides financières aux maîtres d'ouvrage privés ou publics qui concourent à la lutte contre la pollution des eaux, à l'amélioration de la répartition de la ressource en eau, à la protection et la restauration des milieux aquatiques naturels, à la reconquête de la qualité des eaux dans l'intérêt commun du bassin.

Elle mène une politique contractuelle en partenariat avec les acteurs de la dépollution (régions, départements, communes, acteurs économiques) avec obligation de résultats physiques mesurables sur le milieu naturel et garantie de financements pour les maîtres d'ouvrage.

Le bassin hydrographique Rhin-Meuse présente les caractéristiques suivantes :

- 3 régions : la Lorraine, l'Alsace et la Champagne-Ardenne et 8 départements : Haut-Rhin, Bas-Rhin, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Vosges, Ardennes et Haute-Marne.
- 4 millions d'habitants
- 32 700 km<sup>2</sup> de superficie
- Bassins principaux : le Rhin, la Moselle (avec la Sarre) et la Meuse
- 1 900 km de grands fleuves et rivières, et 5 200 km de petits cours d'eau



Le Bassin Rhin-Meuse est le seul des six bassins français à ne pas avoir une zone de littoral directe, le bassin Rhin-Meuse est très marqué par son contexte européen, l'ensemble des eaux du bassin se jetant dans le Rhin et ses affluents et aboutissant dans la mer du Nord. Cette position de bassin frontalier de la Suisse, l'Allemagne, le Luxembourg, la Belgique et les Pays-Bas a donné lieu de longue date à des nombreux échanges internationaux dans le cadre de commissions : Rhin, Moselle-Sarre et Meuse.

Comme tous les établissements publics, l'agence de l'eau est gérée par un conseil d'administration (organe délibérant) et un directeur (organe exécutif). La ministre de l'écologie et du développement durable et le ministre de l'économie, des finances et de l'industrie exercent une tutelle administrative et financière sur l'établissement. Ils désignent à cet effet un commissaire du gouvernement.

## Annexe 2 : Suivi de la qualité des eaux sur le bassin Rhin-Meuse.

⇒ Annexe 2a : Le réseau national de bassin (RNB)

⇒ Annexe 2b : Le réseau de bassin des eaux souterraines (RBES)

⇒ Annexe 2c : Exploitation des données, le SEQ-eau

## Annexe 2a : Le Réseau National de Bassin (RNB).

Mis en place en 1997, il permet de contrôler la **qualité des eaux superficielles** du bassin

Il répond à différents **objectifs** :

- Permettre un suivi patrimonial de l'évolution de la qualité des grands et moyens cours d'eau et son évolution à moyen et long terme.
- Evaluer l'impact des activités humaines sur le milieu et à long terme, celui des actions de protection et de restauration de la qualité des cours d'eau.
- Restituer différents types d'informations sur la qualité vers les usagers et les gestionnaires du milieu aquatique.
- Fournir les informations nécessaires à la mise en œuvre des réglementations nationales et européennes.

Toutes les rivières de plus de vingt kilomètres sont surveillées, (soit au total cent vingt et une, représentant six mille kilomètres de cours d'eau) grâce à 252 stations actives en 1999. Les prélèvements se font dans le milieu aquatique (eau, sédiments, bryophytes, matières en suspension, poissons). Les analyses portent sur un très grand nombre de paramètres avec des paramètres systématiquement mesurés (ammonium, calcium, C organique dissous, couleur, débits, DBO5, DCO, ions nitrates...) et d'autres mesurés de manière plus sporadique (arsenic, nickel, atrazine, mercure...). Les micro polluants (phytosanitaires, HAP, PCB ...) sont mesurés depuis 1991 sur certaines stations (85 au total en 2000). De plus des analyses bactériologiques sont réalisées depuis 1993 sur un certain nombre de stations.

La fréquence des prélèvements est la suivante:

- paramètres physico-chimiques : prélèvements mensuels ou bimensuels.
- paramètres hydrobiologiques : 1 à 2 prélèvements par an.
- paramètres microbiologiques : 9 prélèvements par an.

Les données sont stockées sous la base ORACLE de l'Agence de l'Eau.

L'Agence de l'eau Rhin-Meuse (AERM) est **maître d'ouvrage** délégué et **maître d'œuvre**. Il existe de nombreux partenaires :

- financiers : Ministère chargé de l'Environnement, Agence de l'Eau Rhin Meuse et le Conseil Supérieur de la Pêche.
- opérateurs : prestataires extérieurs, DIREN et le Conseil Supérieur de la Pêche.
- co-gestionnaires : les DIREN, le Conseil Supérieur de la Pêche, l'Agence de l'Eau Rhin Meuse. Son coût annuel de fonctionnement est de l'ordre de 11 millions de francs pris en charge par l'agence de l'eau Rhin-Meuse (91%) et le ministère de l'environnement (9%). Si dans sa forme actuelle, le réseau est bien rodé les évolutions à venir devront mieux prendre en compte les petits cours d'eau du bassin Rhin-Meuse.

## Annexe 2b : Le réseau de bassin des eaux souterraines

### 1. le Réseau de Bassin des Eaux Souterraines-volet quantité.

Mis en place en 2000, il permet de contrôler la "**quantité**" des eaux souterraines du bassin (niveau piézométrique ou débit aux émergences).

Il répond à différents **objectifs** :

- Mieux connaître le fonctionnement des aquifères et évaluer les fluctuations annuelles et inter annuelles de l'état de recharge des nappes.
- Orienter les actions de gestion de la ressource.

Le réseau compte pour le moment 91 stations, et comprend des sources, des puits, des forages et des piézomètres. Le suivi se fait sur le débit des sources (opérateur sur limnimètre pour le suivi périodique et sonde d'acquisition pour le suivi en continu) et le niveau NGF dans le cas des piézomètres (puits...) (opérateur avec sonde piézométrique pour le suivi périodique et sonde d'acquisition pour le suivi en continu). Les mesures sont mensuelles pour les aquifères captifs et au minimum hebdomadaire pour les nappes libres.

Les données sont stockées sous la base ORACLE de l'Agence de l'Eau.

L'Agence de l'eau Rhin-Meuse (AERM) est maître d'ouvrage. Il n'y a pas de maître d'œuvre, mais une cogestion régie par une convention entre AERM et DIREN (Alsace, Champagne-Ardennes, Lorraine). Les opérateurs sont des prestataires de services choisis sur appel d'offre.

### 2. Le Réseau de Bassin des Eaux Souterraines-volet qualité.

Mis en place en 1999, il permet de contrôler la **qualité** des eaux souterraines du bassin

Il répond à différents **objectifs** :

- mieux connaître la qualité des ressources en eau souterraines et identifier ses éventuelles dérives.
- aider à définir les politiques de préservation de cette qualité et permettre de juger de l'efficacité des politiques mises en œuvre, en les réajustant si nécessaire.

Le réseau compte 185 stations. Les analyses portent sur différents paramètres physico-chimiques (T°, pH...), éléments majeurs (carbonates, chlorures...), composés azotés (nitrates...), triazine... Ces mesures sont plus approfondies selon les besoins (Toxiques, HAP...) mais moins poussées dans le cas des aquifères captifs.

Les fréquences de mesures varient selon le type d'aquifère et les risques de pollutions, ainsi les fréquences sont de 1 par an pour les aquifères captifs à très faible renouvellement et 2 par ans pour les aquifères poreux. En zone karstique exposée à un impact anthropique, les fréquences sont portés à 6 par an.

Les données sont stockées dans la base ORACLE de l'Agence de l'Eau.

L'Agence de l'eau Rhin-Meuse (AERM) est maître d'ouvrage. Il n'y a pas de maître d'œuvre, mais une cogestion régie par une convention entre AERM et DIREN (Alsace, Champagne-Ardennes, Lorraine). Les opérateurs sont des laboratoires choisis sur appel d'offre.

## Annexe 2c : Exploitation des données par le SEQ-eau

Le Système d'évaluation de la qualité des Eaux (S.E.Q.-Eau) mis en place par le Ministère chargé de l'Environnement et les Agences de l'Eau est le premier volet d'un ensemble cohérent de trois systèmes complémentaires d'évaluation de la qualité des cours d'eau. Les rivières subissent en effet diverses agressions du fait de l'activité humaine : rejets, aménagements hydrauliques, modification des débits, etc... Si toutes ces actions perturbent potentiellement le fragile écosystème des cours d'eau et voient généralement leurs effets se cumuler, la gestion du milieu aquatique impose de discerner les problèmes. On étudiera donc distinctement les impacts sur la qualité de l'eau (**S.E.Q.-Eau**), sur la morphologie de la rivière (**S.E.Q-physique** en préparation), sur les populations présentes (végétaux, algues, macroinvertébrés, poissons : **S.E.Q-bio** en préparation), etc...

### Le S.E.Q.-Eau

Il vise à fournir un outil national commun d'exploitation des données de qualité des eaux des cours d'eau s'appuyant sur les notions complémentaires d'altérations et de fonctions :

#### - **Des altérations variées**

Il est important de discerner l'altération par les matières organiques de celles dues aux matières azotées, au phosphore, aux chlorures ou encore de celle qui se manifeste par une augmentation des teneurs en chlorophylle.

L'étude distincte de la situation vis-à-vis de chacune de ces altérations permet une vision plus fine de l'état de chacun des cours d'eau et la mise en oeuvre de solutions adaptées à chaque cas.

#### - **Des fonctions et usages contrariés**

Les différentes altérations subies par le cours d'eau sont susceptibles de compromettre la fonction biologique du cours d'eau (aptitude à la vie biologique) et les différents usages anthropiques (production d'eau potable, loisirs aquatiques, irrigation, abreuvement et aquaculture).

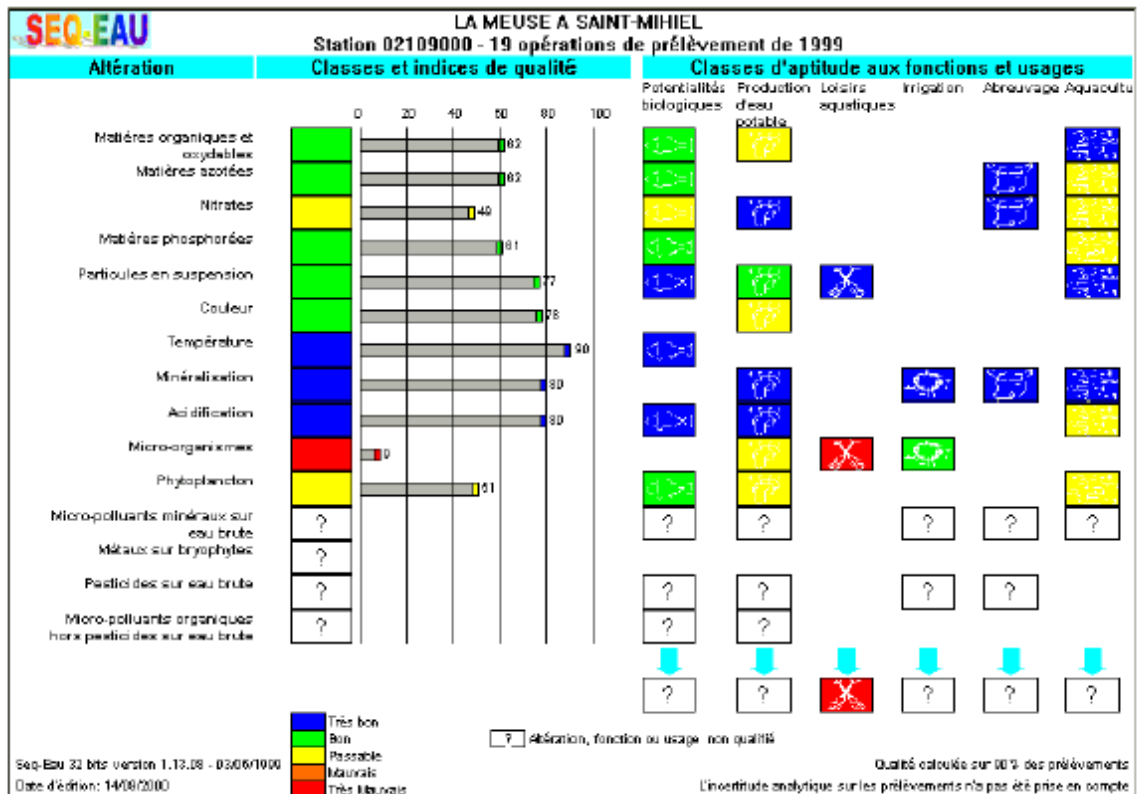
#### - **Une approche combinant altérations et fonctions**

L'intérêt du nouveau système d'évaluation de la qualité des eaux est d'offrir une approche croisant altérations et fonctions : les paramètres de mesure de la qualité de l'eau (pH, oxygène dissous, nitrates etc...) ont été répartis entre les différentes altérations (un même paramètre pouvant être pris en compte pour plusieurs altérations) et des grilles ont été établies pour chaque paramètre dans le cadre de l'altération considérée et ce pour chaque fonction (ou usage) pour laquelle l'altération est pertinente. Une grille générale a ensuite été établie, synthétisant les différentes grilles obtenues pour les trois fonction ou usages principaux : biologie, production d'eau potable et loisirs aquatiques .

L'exploitation des données d'une station permet donc de connaître pour chaque altération :

- **la classe de qualité** basée sur les trois principaux usages ou fonctions (et même un indice permettant de préciser davantage la position de la station vis-à-vis des limites de cette classe.);
- **la classe d'aptitude** vis-à-vis de chaque fonction ou usage, c'est à dire la quantification de l'aptitude de l'eau à satisfaire la fonction considérée.

Exemple :



Cet exemple permet de voir immédiatement la diversité de la situation d'un même cours d'eau vis-à-vis des différentes altérations (lignes) et des différentes fonctions (colonnes de la partie droite) : si la teneur en micro-organismes est très mauvaises, en particulier pour un usage de loisir, la Meuse, à cet endroit, ne connaît pas de problème de température, de minéralisation ou d'acidification. L'étude par fonction montre que la teneur en matières organiques est tout à fait satisfaisante vis-à-vis de l'aquaculture, bonne vis-à-vis des potentialités biologiques et passable pour la production d'eau potable. Les cases dotées d'un point d'interrogation matérialisent les altérations non suivies dans le cadre du RNB sur cette station. Seul l'usage loisirs est d'ores et déjà compromis compte-tenu de la teneur en microorganismes, la situation générale vis-à-vis des autres usages ne pourra être renseignée que si la qualité vis-à-vis des différents micro-polluants est connue.

Les cartes présentées en annexe 3a et 5a prennent en compte les couleurs obtenues dans la colonne de la partie gauche de cette planche de résultats (classes de qualité synthétisant l'aptitude de l'eau à satisfaire les trois principaux usages ou fonctions).



## Annexe 3 : Qualité des eaux superficielles en Lorraine

⇒ Pollution des eaux superficielles par les nitrates

⇒ Pollution des eaux superficielles par les produits phytosanitaires

# NITRATES - 1999

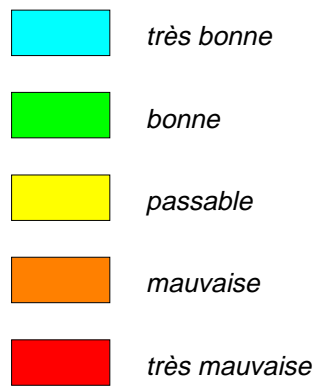
Altération nitrates selon le S.E.Q.-Eau

Données du Réseau National de Bassin



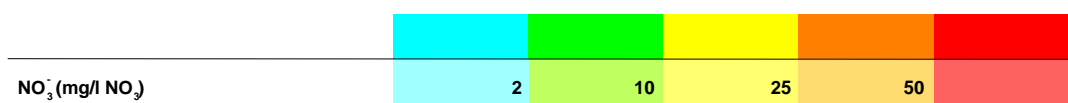
IGN - AE - BD CARTO

## Classes de qualité

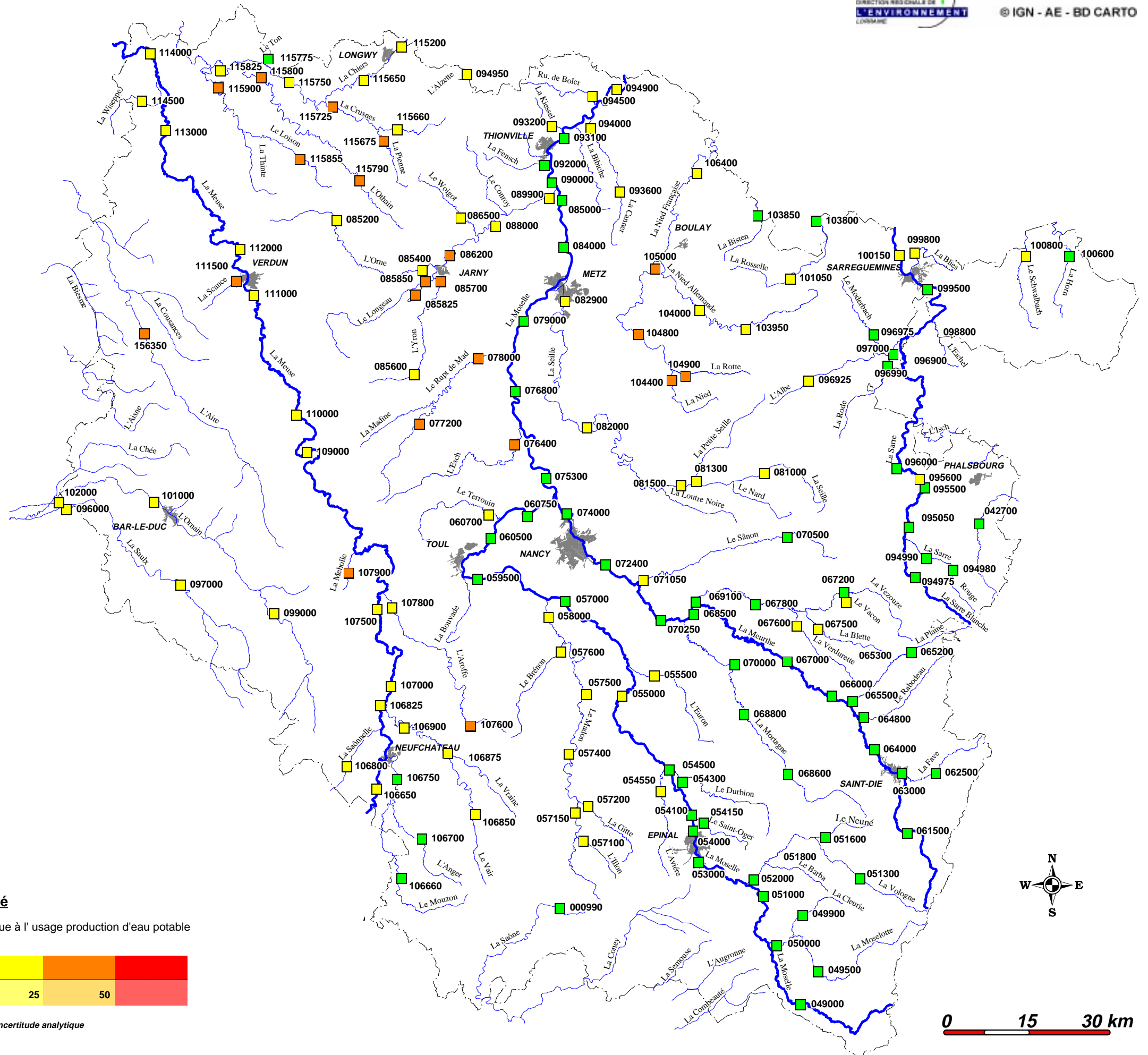


## Limites des classes de qualité

Les classes de qualité prennent en compte la fonction potentialité biologique à l'usage production d'eau potable



Options de calcul retenues : prise en compte des valeurs 90% : non prise en compte de l'incertitude analytique



# PESTICIDES 1999

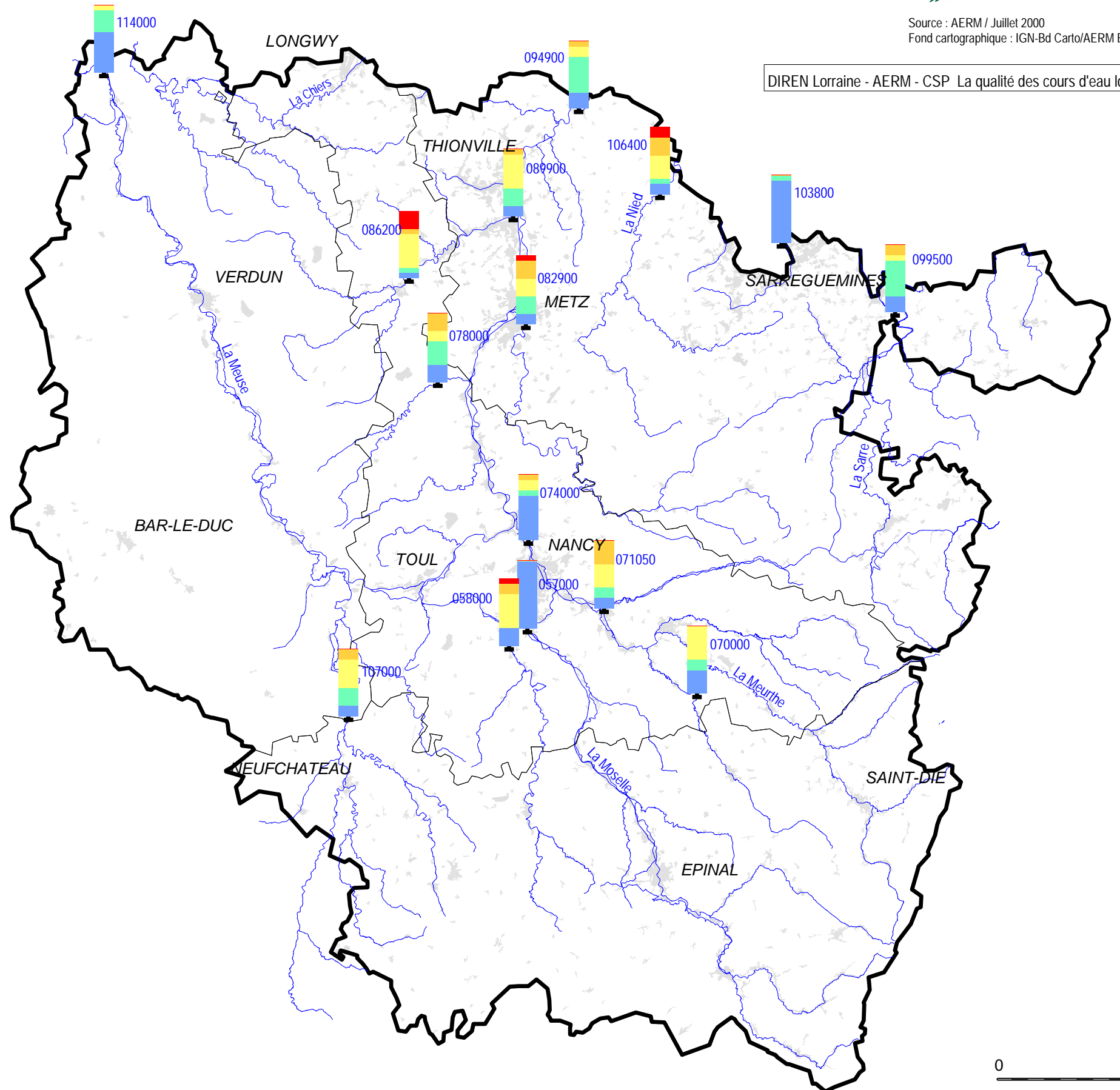
## Altération "pesticides" selon le S.E.Q.- Eau

### Données du Réseau National de Bassin



Source : AERM / Juillet 2000  
Fond cartographique : IGN-Bd Carto/AERM Bd Carthage

DIREN Lorraine - AERM - CSP La qualité des cours d'eau lorrains en 1999



#### Classes de qualité

- Très Mauvaise
- Mauvaise
- Passable
- Bonne
- Très Bonne

#### Limites des classes de qualité

Atrazine (µg/l)	0.1	0.3	0.5	2	
Carbendazime (µg/l)	0.007	0.07	1	2	
Chlortoluron (µg/l)	0.1	0.07	1.4	2	
Diuron (µg)	0.1	0.7	1.4	2	
Isoproturon (µg/l)	0.1	0.2	1.1	2	
Lindane (µg/l)	0.01	0.1	0.2	1	
Linuron (µg/l)	0.1	0.5	1.3	2	
Simazine (µg/l)	0.02	0.2	0.5	2	
Trifluraline (µg/l)	0.1	0.2	1.1	2	

0 25 Km

Annexe 4 : Fiches descriptives des produits phytosanitaires  
les plus fréquents

⇒ Annexe 4a : L'atrazine

⇒ Annexe 4b : Le diuron

⇒ Annexe 4c : L'isoproturon

## Annexe 4a : ATRAZINE

### 1. Usage

Cet herbicide d'origine suisse appartient à la famille chimique des triazines. Il est absorbé par les racines mais aussi par les feuilles. Son utilisation est autorisée en France pour le maïs et le sorgho à grains. Il est appliqué en avril et juin, et est d'une utilisation très souple.

La réglementation relative à l'usage de ce produit a été modifiée en 1997 (avis au Journal Officiel du 15 février 1997). Son usage en zone non agricole a été interdit, et la dose maximale d'application en zone agricole – qui avait déjà été réduite de 4000 g/ha à 1500 g/ha en 1990- a alors été limitée à 1000 g/ha.

### 2. Classification

L'atrazine est classé Xn (nocif). Les risques toxicologiques liés à son usage sont :

- R20/22 : nocif par inhalation, et nocif en cas d'ingestion
- R36 : irritant pour les yeux
- R40 : possibilité d'effets irréversibles
- R43 : peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau

Il convient de remarquer que la classification officielle, qui date de 1993, ne fait pas état de nocivité environnementale de l'atrazine, mais elle est actuellement en cours de révision. La DJA (dose journalière admissible pour l'homme) est de 0.0005 mg/kg/jour.

### 3. Efficacité

Il est d'une efficacité remarquable à l'égard des graminées adventices et de nombreuses herbes dicotylédones. Sa durée d'action est d'au moins 2 à 6 mois, sa stabilité est maximale pour un pH autour de la neutralité.

Son spectre d'action porte principalement sur les graminées. Il présente en effet un manque d'efficacité pour certaines dictylédones, et il est rarement utilisé seul, mais souvent avec un complément pour une action anti-dicotylédones.

L'atrazine n'a pas d'action satisfaisante sur le brome stérile. Cet adventice peut être éliminé par un labour, mais peut poser des problèmes en cas de travail simplifié du sol.

On remarque également un effet synergique de l'atrazine avec de nombreuses molécules, même quand il est appliqué à une dose de 500 g/ha, et qui se traduit d'une part, par une augmentation de la durée d'efficacité du traitement et d'autre part, par un élargissement du spectre d'action. Des problèmes de résistance des mauvaises herbes ont été observés.

#### 4. Intérêts

En plus de sa forte efficacité vis-à-vis des graminées adventives, l'atrazine présente deux intérêts majeurs :

- un faible coût (60F/ha de coût de produit)
- une facilité d'application que ce soit en prélevée ou en post-levée.

C'est ainsi que cette molécule fait actuellement partie intégrante des habitudes de desherbage du maïs.

#### 5. Contraintes environnementales

Cette molécule, qui est fréquemment retrouvée dans les eaux, a fait l'objet de nombreuses études. De très nombreux travaux se sont attachés à mieux connaître ses modalités de transfert à l'échelle d'un bassin versant, qui sont en rapport direct avec les possibilités de potabilisation de l'eau. **On observe une très forte rémanence de ce produit et de ses métabolites (déséthylatrazine) dans les eaux souterraines.**

Le seuil de potentialités biologiques proposé dans le cadre du SEQ Bio pour l'atrazine est de **0.2 µg/l**.

Une autre partie des études vise quant à elle à préciser l'impact écotoxicologique du produit sur les organismes et les milieux, une fois qu'ils sont contaminés.

L'impact le plus important de ce produit porte sur les **producteurs primaires**, et ce à des doses tout à fait comparables à celles retrouvées dans le milieu. Des seuils de toxicité aiguë de 0.021 mg/l ont déjà été notés.

Concernant les invertébrés aquatiques, des études menées en mésocosmes concluent qu'une concentration en atrazine de 0.02 mg/l peut avoir des effets sur ces populations. Dans ce cas, il n'est pas prouvé que l'impact soit direct ou indirect.

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 dans les écosystèmes naturels.

*Source : [Agence de l'eau, 2000]*

## Annexe 4b : DIURON

### 1. Usage

Cet herbicide d'origine américaine appartient, comme l'isoproturon, à la famille des urées substituées. Il pénètre dans le végétal par les racines et fait preuve d'une assez longue persistance d'action dans le sol. Il est hydrolysé à la chaleur et en conditions alcalines ou fortement acides.

Le diuron est une molécule qui peut être utilisée dans deux contextes bien distincts :

- en zone agricole, principalement sur la vigne
- en zone non agricole, pour le désherbage des zones urbaines et des infrastructures linéaires.

L'index phytosanitaire précise les différentes utilisations possibles du diuron en zone agricole. L'apport de diuron ne peut excéder 1800 g/ha traité par an.

Il s'agit d'un racinaire, applicable pendant le repos végétatif à la sortie de l'hiver, lorsque les mauvaises herbes sont encore au stade plantule.

La législation relative à l'usage des produits phytosanitaires en zone non agricole a beaucoup évolué ces dernières années. De nombreux produits ont été interdits d'usage (atrazine, simazine, néburon) ; le diuron a également été interdit en emploi seul. Cependant, il reste autorisé lorsqu'il est associé à d'autres substances actives et dans ce cas la quantité autorisée est limitée à 3000 g/ha. Dans certaines régions (Bretagne), son usage n'est autorisé qu'à certaines périodes de l'année.

### 2. Classification

Le diuron est classé N (nocif pour l'environnement) et Xn (nocif). Les risques toxicologiques liés à son usage sont :

- R22 : nocif par inhalation
- R40 : possibilité d'effets irréversibles
- R48/22 : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée et nocif en cas d'ingestion
- R50 : très toxique pour les organismes aquatiques
- R53 : peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique

La DJA est de 0.0015 mg/kg/jour.

### 3. Efficacité

Son spectre d'efficacité est bien marqué sur les graminées estivales et il présente aussi une efficacité contre les dicotylédones. Son efficacité est toutefois jugée insuffisante sur un certain nombre d'adventices.

#### 4. Contraintes environnementales

Cette molécule est fréquemment retrouvée dans les eaux, mais l'étude de son transfert a fait l'objet de moins d'étude que les deux autres molécules.

Le seuil de potentialités biologique proposé dans le cadre du SEQ Bio est de **0.2 µg/l**.

Le risque de toxicité aiguë est important pour certains insectes et les **producteurs primaires**.

La toxicité chronique est très mal connue pour les invertébrés aquatiques. En ce qui concerne les poissons, la toxicité chronique est s'exprime à des concentrations du même ordre que celle rencontrées dans les écosystèmes naturels. Le danger représenté par cet herbicide n'est donc pas négligeable.

*Source : [Agence de l'eau, 2000]*



## Annexe 4c : ISOPROTURON

### 1. Usage

Cet herbicide appartient à la famille chimique des urées substituées (dérivés de l'urée). Ce produit est utilisé pour les céréales d'hiver (blé tendre, orge). Il est homologué pour une dose d'application maximale de 1500 g/ha.

### 2. Classification

L'isoproturon est classé N (nocif pour l'environnement) et Xn (nocif). Les risques toxicologiques liés à son usage sont :

- R22 : nocif par inhalation
- R40 : possibilité d'effets irréversibles
- R50 : très toxique pour les organismes aquatiques
- R53 : peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique

La DJA est de 0.0006 mg/kg/jour.

### 3. Efficacité

Il exerce son action herbicide en pénétrant dans la plante (principalement par les racines). Véhiculé par la sève, il s'accumule dans les feuilles où il inhibe la photosynthèse. Sa persistance agronomique est considérée comme moyenne.

L'isoproturon agit essentiellement sur les vulpins, pâturins et agrostides, qui sont les graminées annuelles très fréquemment retrouvées avec les cultures de céréales à paille. Il ne présente pas d'efficacité satisfaisante vis à vis du brome stérile. L'isoproturon possède de plus une action sur un certain nombre de dicotylédones, mais reste sans action sur les véroniques, pensées, myosotis, géraniums et gaillets. De ce fait il est rarement utilisé seul, mais combiné à une matière ayant une action antidicotylédones. Un produit très courant commercialise sous le nom de Quartz, en est un exemple.

On a pu constater des phénomènes de vulpin résistant à l'isoproturon ainsi que quelques cas de ray-grass.

### 4. Intérêts

En plus de sa forte efficacité vis à vis des graminées adventices, l'isoproturon présente, tout comme l'atrazine, deux intérêts majeurs, qui sont sa facilité d'utilisation et son faible coût

## 5. Contraintes environnementales

Cette molécule qui est fréquemment retrouvées dans les eaux a fait déjà l'objet de nombreuses études. Toute une partie de ces travaux s'est attachée à mieux connaître ses modalités de transfert à l'échelle d'un bassin versant.

Son usage très répandu en agriculture et sa présence est fréquemment décelée dans les eaux de surface, dans les eaux de nappe, mais également dans les eaux de pluie.

Le seuil de potentialités biologique proposé dans le cadre du SEQ Bio est de **0.2µg/l**.

Une autre partie des études, de nature écotoxicologique, vise à préciser l'impact du produit sur les organismes et les milieux, une fois qu'ils sont contaminés. Malgré les problèmes de contamination que pose l'isoproturon, très peu de travaux sur les effets subléthaux de cette molécule sur les organismes aquatiques sont identifiés.

La toxicité aiguë ne s'exprime qu'à des concentrations bien supérieures à celles rencontrées généralement dans les milieux. La toxicité chronique est difficile à estimer en raison du peu de données disponibles, mais des **toxicités chroniques à une concentration de 0.7 mg/l** ont pu être mises en évidence sur des invertébrés aquatiques.

L'isoproturon semble tout de même avoir des conséquences importantes sur les **producteurs primaires** dès la concentration de 2 µg/l. Il pourrait donc être intéressant d'évaluer les effets indirects sur les écosystèmes aquatiques

*Source : [Agence de l'eau, 2000]*

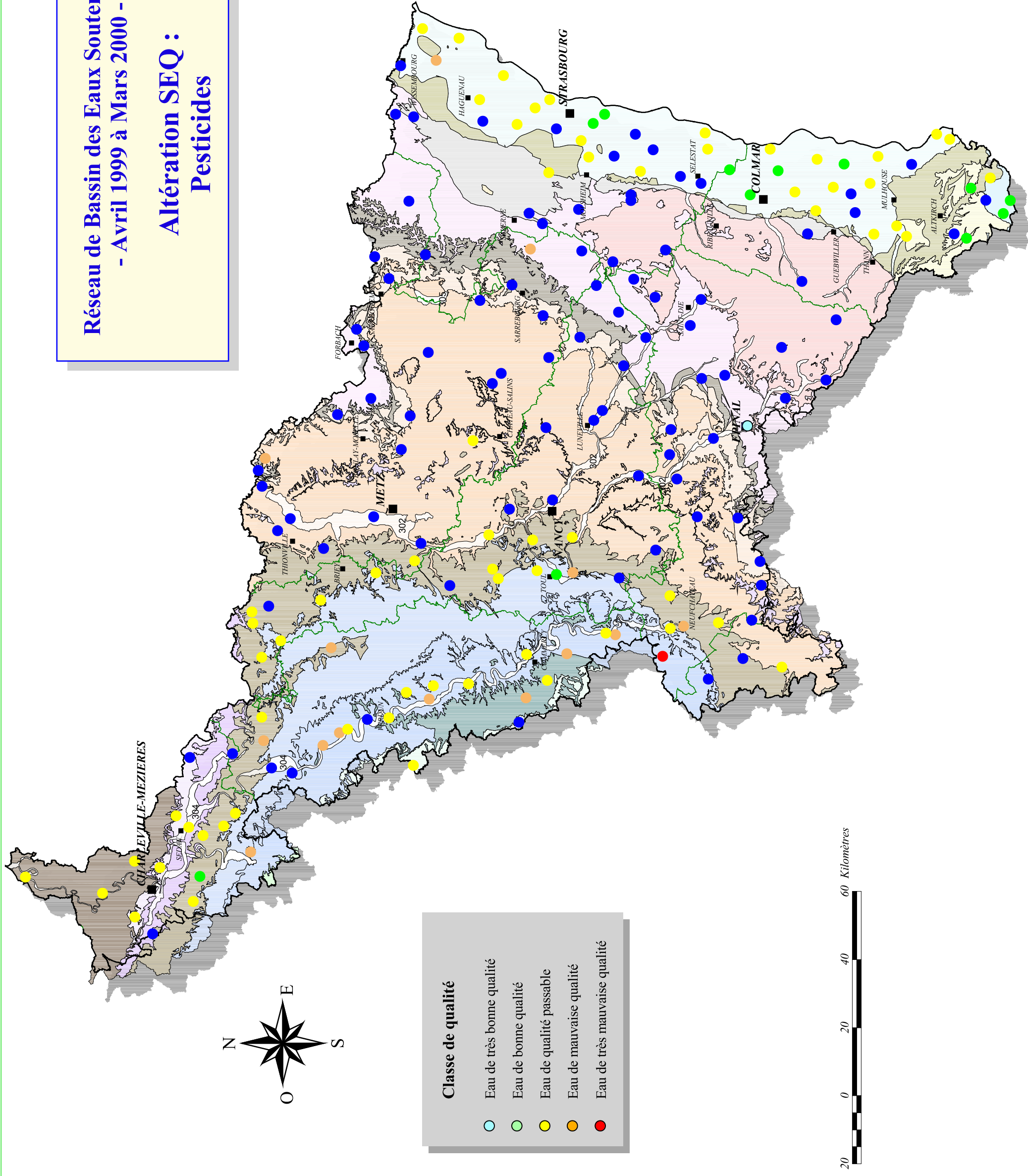
## Annexe 5 : Qualité des eaux souterraines sur le bassin Rhin-Meuse

⇒ Pollution des eaux souterraines par les nitrates

⇒ Pollution des eaux souterraines par les produits phytosanitaires

# Réseau de Bassin des Eaux Souterraines - Avril 1999 à Mars 2000 -

## Altération SEQ : Pesticides



Agence de l'eau  
Rhin-Meuse

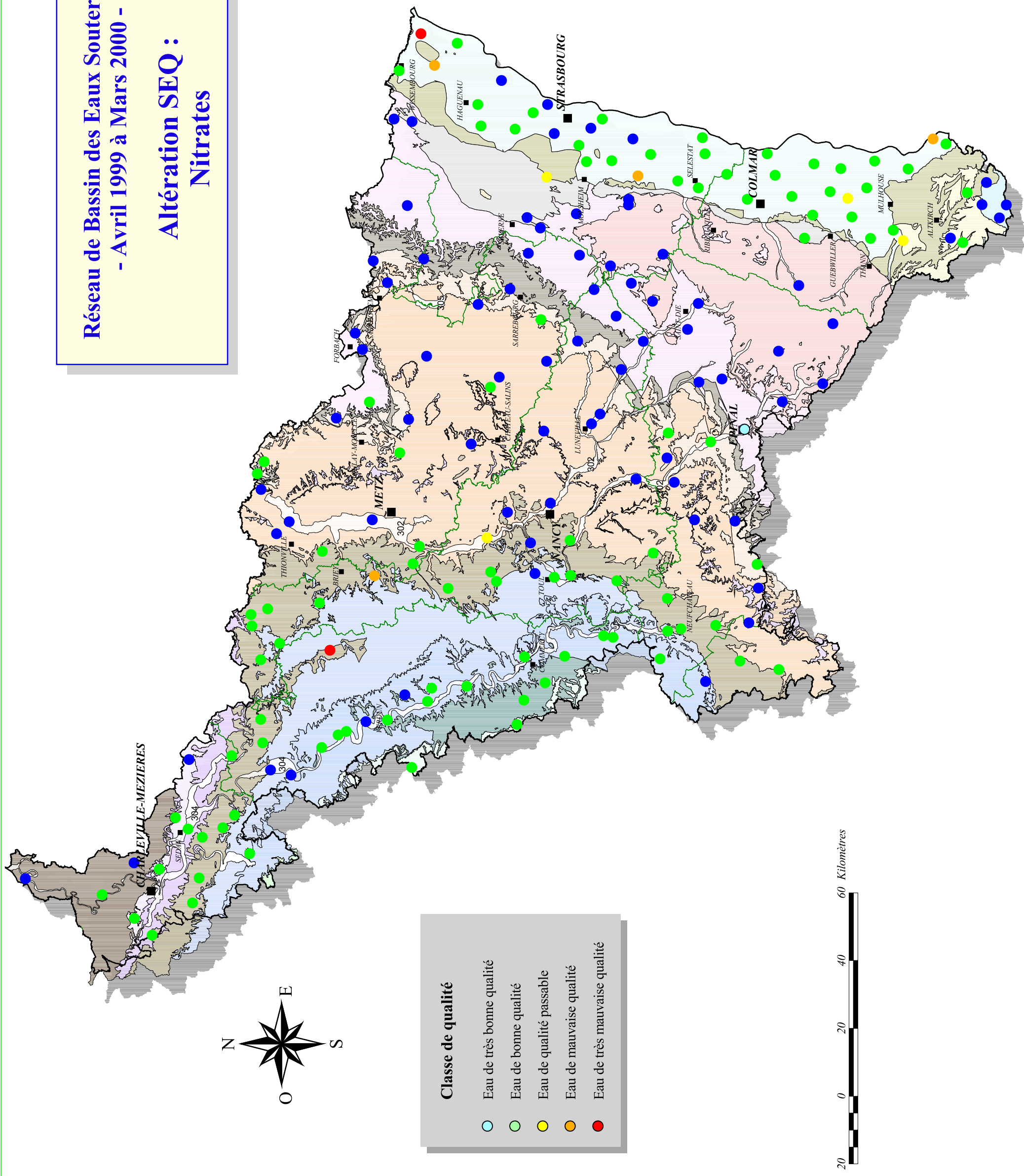
ECHELLE : 1 / 1 100 000

copyright : IGN - BD CARTO® / AERM - BD CARTHAGE®

# Réseau de Bassin des Eaux Souterraines

- Avril 1999 à Mars 2000 -

## Altération SEQ : Nitrates



ECHELLE : 1 / 1 100 000

## Annexe 6 : Directive Nitrate

### ➤ Principe

La directive 91/676/CEE du 12 décembre 1991 dite « Directive Nitrate » a un double objectif : d'une part réduire la pollution directe ou indirecte des eaux par les nitrates provenant de sources agricoles et, d'autre part, en prévenir l'extension. Ces objectifs, la directive cherche à les atteindre en imposant aux Etats membres de déterminer les eaux affectées par la pollution et celles susceptibles de l'être et de désigner les zones concernées comme « zones vulnérables » sur la base des programmes de surveillance prévus par la directive. Les Etats membres doivent établir, pour ces zones, des programmes d'action comportant des mesures contraignantes concernant les pratiques agricoles, indiquant en particulier les quantités maximales d'effluents d'élevage pouvant être épandues par an. Ils sont également tenus d'établir un code de bonne pratique agricole à mettre en œuvre volontairement en dehors des zones vulnérables et obligatoirement à l'intérieur de ces zones. Ils sont obligés de surveiller les concentrations de nitrates dans les eaux pour évaluer l'efficacité des mesures adoptées [Commission européenne, 1998].

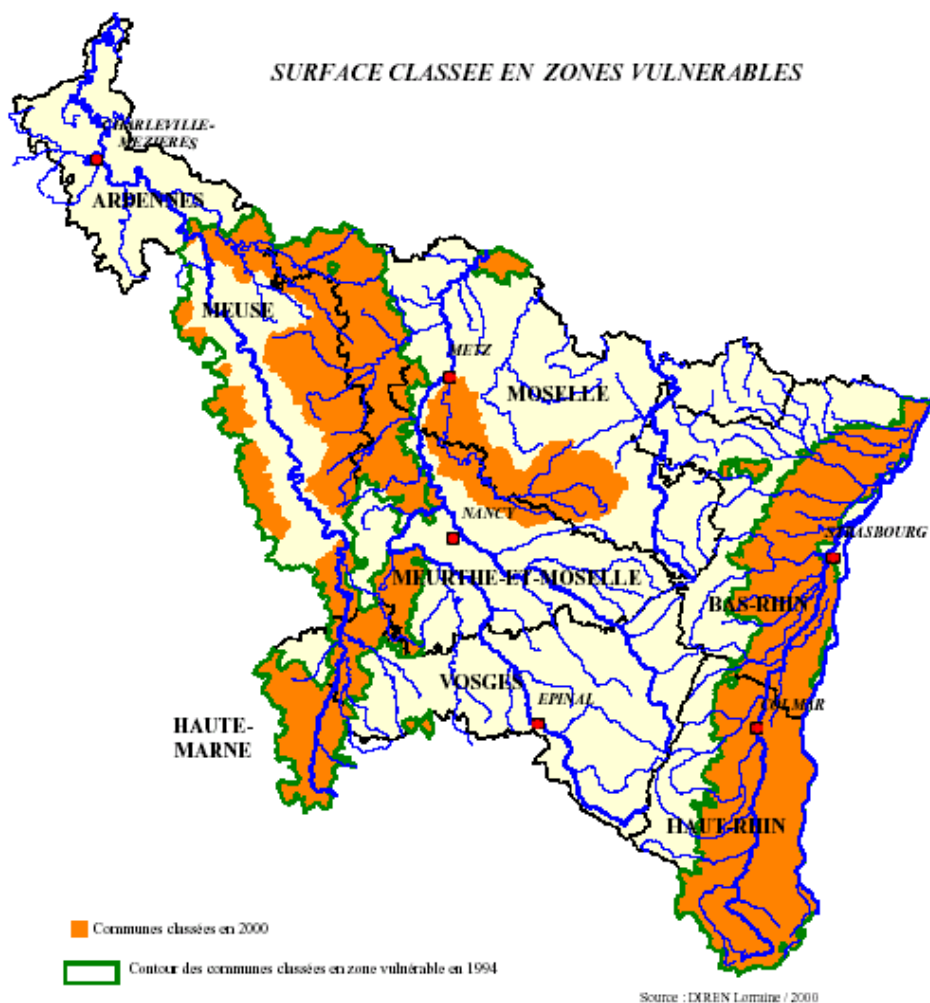
Elle constitue le principal instrument réglementaire pour lutter contre les pollutions liées à l'azote provenant de sources agricoles. Elle concerne l'azote toutes origines confondues (engrais chimiques, effluents d'élevage, effluents agro-alimentaire, boues,...) et toutes les eaux quels que soient leur origine et leur usages.

### ➤ Zone d'action : les zones dites « vulnérables »

La 1ère étape de la politique de protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole consiste à dresser au moins tous les 4 ans l'inventaire des zones dites vulnérables. Au sens du décret du 27.08.93, sont désignées comme zones vulnérables les parties de territoire qui alimentent :

- des ressources en eau potable superficielles ou souterraines dont la teneur en nitrate est soit supérieure à 50 mg/l, soit comprise entre 40 et 50 mg/l avec une tendance d'évolution à la hausse,
- des milieux aquatiques touchés par un phénomène d'eutrophisation susceptible d'être efficacement combattu par une réduction des apports en azote.

Ces zones sont délimitées par un arrêté préfectoral pris à l'échelle du bassin Rhin-Meuse. Deux inventaires des zones vulnérables ont été réalisés au niveau du bassin Rhin-Meuse, respectivement en 1994 et 2000. La carte représente donc d'une part les limites des zones identifiées comme vulnérables lors de l'inventaire de 1994 et d'autre part celles résultant de l'arrêté préfectoral pris le 6 avril 2000. Elles représentent aujourd'hui 40 % du bassin Rhin-Meuse.

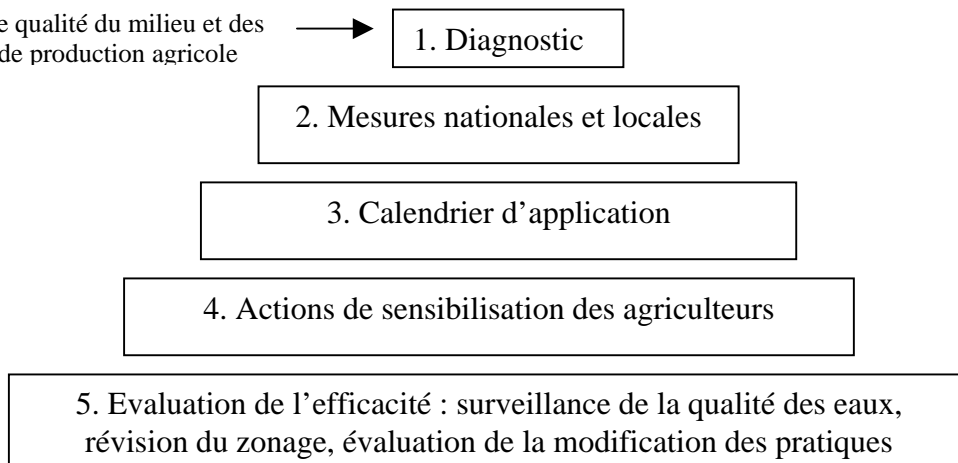


➤ Mesures mises en place : La définition de programmes d'action dans les zones vulnérables

A l'intérieur des zones vulnérables de chaque département, la directive va se traduire par un programme d'action regroupant un ensemble de mesures nécessaires à une bonne maîtrise de la fertilisation et à une gestion adaptée des terres agricoles en vue de limiter à un niveau admissible les fuites de composés azotés vers les eaux superficielles et souterraines.

**Ce programme d'action est proposé par un groupe de travail prenant en compte les programmes d'actions existants. Ils doivent être menés sur une période de 4 ans.**

Indicateur de qualité du milieu et des systèmes de production agricole →



*Source : [BARTHELEMY, 2000].*

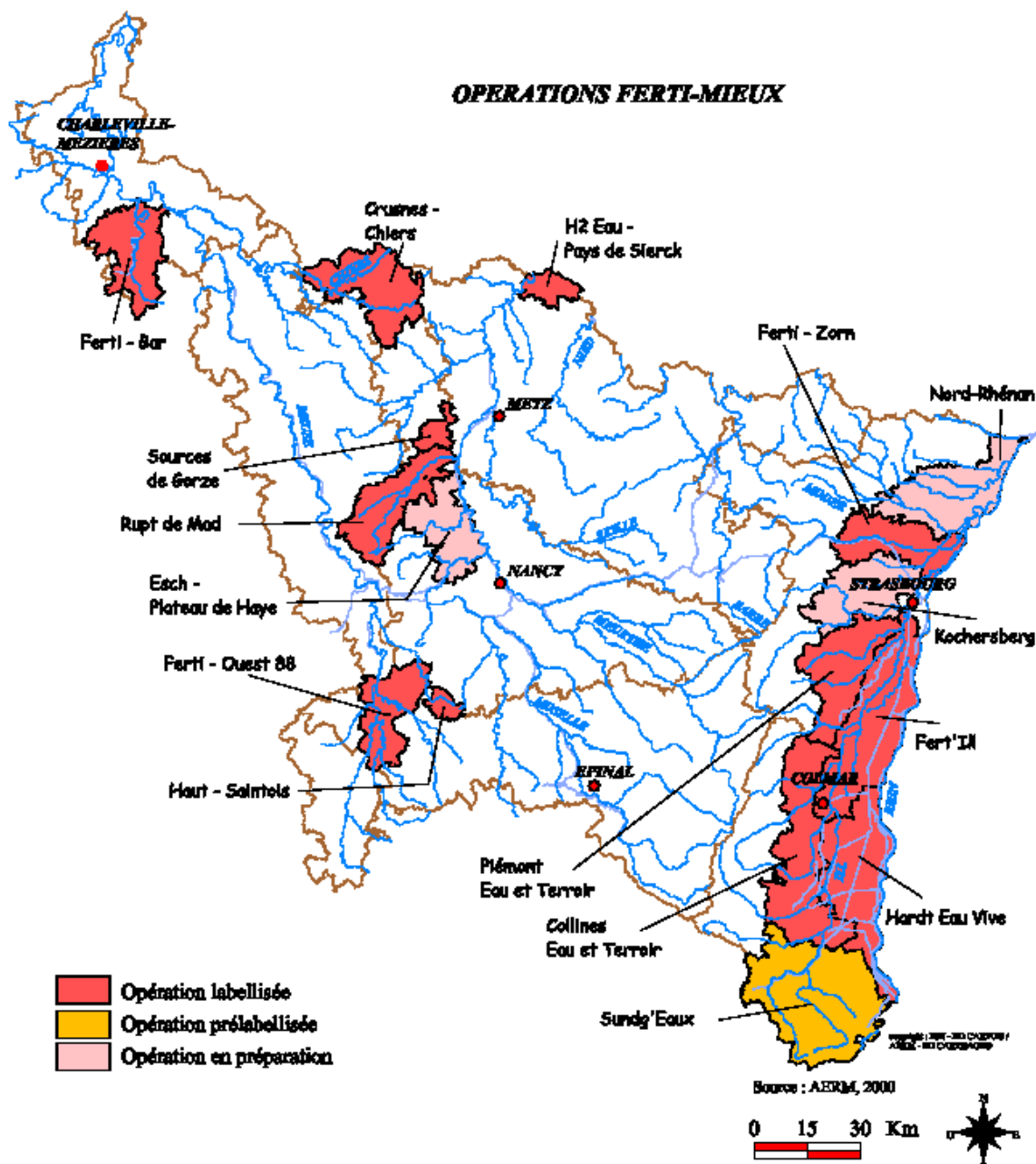
Le 1<sup>ier</sup> programme (1997-2000) visait à corriger les pratiques les plus polluantes. Le second (2000-2003) doit permettre l'évolution de ces pratiques afin de protéger, voire de restaurer la qualité des eaux. Des objectifs quantifiés de gestion des fertilisants azotés et de couverture des sols sont fixés localement. Une évaluation locale et nationale de la mise en œuvre de la directive est prévue en 2004.

Le code de bonnes pratiques agricoles (CBPA) :

Sur l'ensemble du territoire, la directive a donné lieu à un code de bonnes pratiques agricoles ou ensemble de recommandations dont l'application est conseillée mais non obligatoire. Celle-ci le devient à l'intérieur des périmètres classés en zones vulnérables. Les bases techniques du CBPA sont proposés par le CORPEN (Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates et les produits phytosanitaires provenant de l'agriculture).



## Annexe 7 : Les opérations Ferti-Mieux sur le bassin Rhin-Meuse



Les opérations Ferti-Mieux devraient, à terme, couvrir la totalité des zones de nappes affleurantes. Pour l'Alsace, cet objectif est quasiment atteint. En Lorraine et notamment en Meuse et en Meurthe et Moselle, ainsi qu'en Haute Marne, une grande partie des zones vulnérables restent à couvrir. De plus, en Moselle, il a été proposé au comité de Bassin qui l'a accepté, de classer l'ensemble du bassin de la Seille en zones vulnérables en 2000 : des opérations Ferti-Mieux pourront donc s'y développer. Il faut reconnaître l'impact encore mitigé de ces opérations sur la qualité des nappes vulnérables vis à vis des nitrates. Cependant, certaines opérations sont à remarquer, comme " Sources de Gorze " ou " Haut-Saintois ", opérations où l'on peut voir une évidente corrélation entre la diminution des intrants azotés et l'amélioration de la qualité de la ressource.

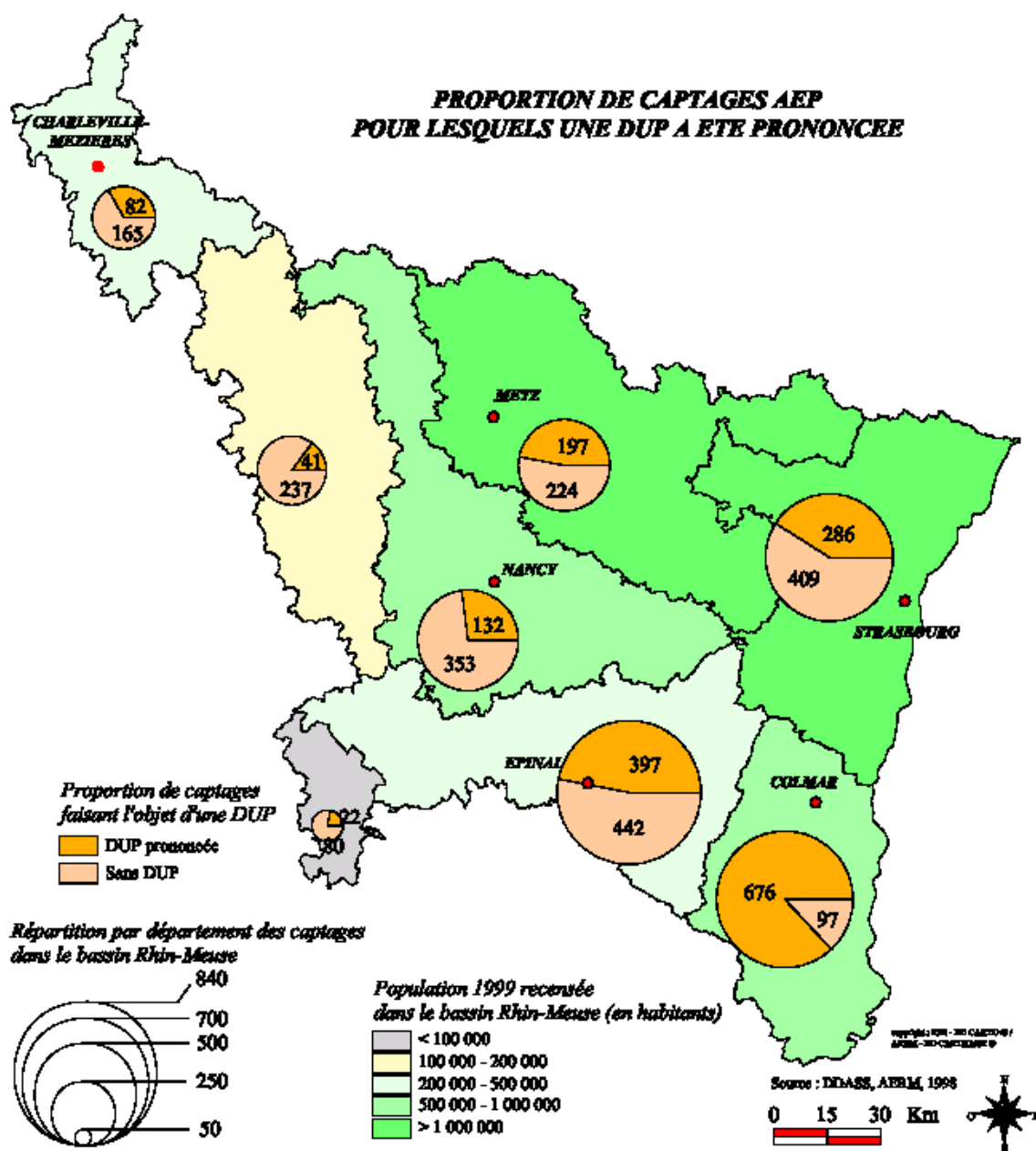
Il est évident que le périmètre limité de ces opérations, le fort taux d'encadrement (un seul animateur, comme toutes les autres opérations, mais pour un nombre bien plus réduit d'agriculteurs), ainsi que la forte motivation des agriculteurs sont des facteurs déterminants de cette réussite.

### 13 Opération **Ferti-Mieux** sur le bassin Rhin-Meuse et 3 en préparation :

Opération	Année de démarrage	Stade	Surfaces (SAU en ha)	Nombre d'agriculteurs	Agriculture dominante				Teneur en nitrates de départ ( en mg/l)
					Elevage	Culture classique	Culture spéciale	Viticulture	
Haut-Sainctois 88-57	1991	L	800	40	+	+			50 à 67
Source de Gorze 57-54	1992	L	4000	56		+			25 à 60
Fert'ill 67-68	1992	L	13000	600	+	+			20 à 60
Crusnes Chiers 54	1992	L	28000	310	+	+			15 à 50
Rupt de Mad 54-55	1993	L	21000	200	+	+			10 à 40
Ferti-bar 08	1993	L	26000	300	+	+			20 à 60
Hardt eau vive 68	1993	L	34000	750		+			30 à 60
Ferti Ouest 88	1994	L	18000	138	+	+			27 à 30
Piémont eau et terroir 67	1994	L	19000	1200		+	+	+	31 à 57
H2 eau pays de Sierck 57	1994	L	6600	173	+	+			45 à 50
Collines eau et terroir 68	1995	L	21500	1850		+		+	30 à 60
Ferti-Zorn 67	1996	L	27000	840	+	+	+		20 à 50
Sundg'eaux 68	1997	PL	45000	1600	+	+			30 à 60
Kochersberg 67	-	EP	27000	920	+	+			?
Nord Rhénan 67	-	EP	15400	550	+				?
Esche-Plteau de Haye 54	-	EP	15400	160	+				?

Source : [ MANSARD M-L]

## Annexe 8 : Protection des captages AEP



Source : [SDAGE, 2000]

Globalement, le taux des captages protégés par une DUP est en constante augmentation. Certains départements ont été plus rapides que d'autres lors de la mise en place de ces DUP, mais ce constat est à nuancer. En effet, certaines DUP sont à reprendre car trop anciennes pour répondre aux exigences actuelles quant à la définition des périmètres de protection et à leur contenu. Une grande partie des captages ont donc actuellement atteint le stade de la DUP, mais le suivi des servitudes, des prescriptions et des travaux de protection manque à cette analyse.

## Annexe 9 : Suivi des opérations Ferti-Mieux

On compte 16 opérations Ferti-Mieux sur le bassin Rhin-Meuse. Elles sont en place depuis plus ou moins longtemps et sont suivies par différentes Chambres d'agriculture. Une évaluation finale est mise en œuvre tous les quatre ans selon une méthodologie proposée par le CORPEN, comité de pilotage national des opérations Ferti-Mieux, en 1997. En amont de cette évaluation, de nombreux rapports permettent de suivre l'évolution des actions aussi bien dans leur réalisation que dans leur efficacité :

- Le bilan annuel présentant le calendrier de travail, le conseil et la communication aux agriculteurs, les pratiques agricoles, le contexte global et l'acquisition de connaissances ;
- L'évaluation intermédiaire (tous les 2 ans) qui s'attache à évaluer la perception de l'opération par les différents acteurs ;
- Le renouvellement de label qui rappelle le contexte et les enjeux, le diagnostic initial, le fonctionnement des instances et les stratégies d'action, les résultats et les perspectives de l'action et sa diffusion extérieure ;
- Le bilan financier d'action ;
- L'évaluation quadriennale qui fait un état des lieux et retrace l'évolution des pratiques en précisant la méthodologie appliquée, les indicateurs, les modifications de pratiques et les perspectives (procédure d'évaluation interne).

C'est ce dernier rapport qui permet d'avoir une vision globale de l'action et de son évolution.

### En théorie : le guide Ferti-Mieux

Afin de pouvoir apprécier les modifications de pratiques, il était nécessaire de mettre en place une méthode, à partir d'outils, qui permette d'évaluer l'impact des opérations. Un guide a été élaboré s'articulant en 3 étapes progressives centrées chacune sur un indicateur et définissant des critères à prendre en compte pour mesurer l'évolution des pratiques agricoles :

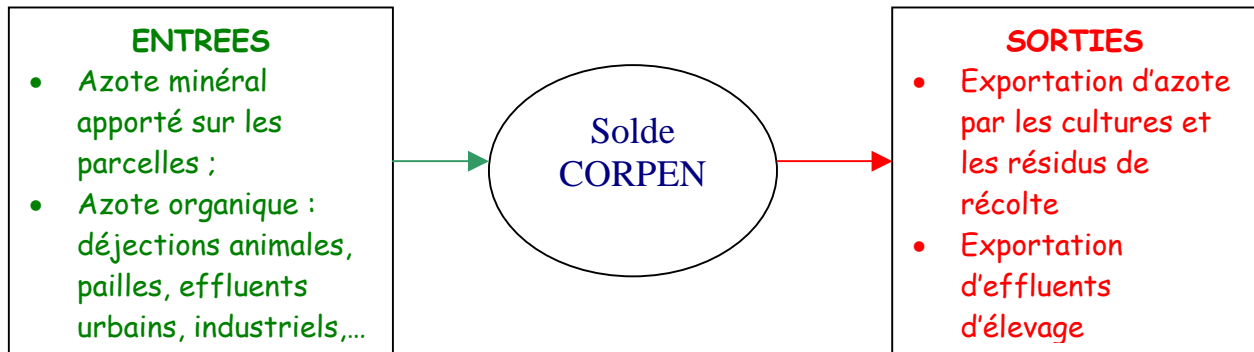
- le solde CORPEN permet de savoir rapidement ce qu'il sera utile d'observer ;
- la grille de risque permet de réaliser l'interprétation, et d'identifier l'effet des conseils sur les modifications de pratiques ;
- la quantification des flux de rejets permet de mesurer autant que possible et d'une manière pertinente l'évolution de la réduction des risques.

Ces étapes permettent de passer d'un niveau d'observation « exploitation moyenne » au niveau « parcelles moyennes » puis à des parcelles réelles avec possibilité de gestion collective à l'échelle du bassin.

⇒ **le solde CORPEN** [LANQUETUIT, SEBILLOTTE, 1997]

Le solde CORPEN est la différence entre les entrées et les sorties d'azote pour une année sur l'ensemble des parcelles d'une exploitation. Les références utilisées sont les exportations des cultures en fonction du rendement réalisé.

$$\text{Solde CORPEN (U/ha/an)} = \frac{(\text{Entrées d'azote} - \text{Sorties d'azote})}{\text{Surface totale de l'exploitation}}$$



Il met en évidence les déséquilibres importants et il permet un diagnostic rapide ainsi que la comparaison des groupes d'exploitation entre eux.

Cet indicateur ne prend pas en compte les paramètres tels que la minéralisation de l'humus ou les reliquats azotés après la récolte. Il ne prend pas en compte d'éventuelles pertes par lessivage. L'indicateur est influencé par le niveau de rendement et les conditions climatiques de chaque année. Il est fonction des valeurs forfaitaires de teneur en azote affectée à chaque produits (+ ou – 20 U/ha). Il convient donc d'être prudent dans l'utilisation de ces bilans.

Un solde positif met en évidence des apports d'azote trop importants pouvant entraîner des risques de fuites de l'azote en excès. La méthode permet en aucun cas d'expliquer les raisons de ce résultat. A l'inverse, un solde négatif risque d'altérer à long terme la fertilité des sols.

#### ⇒ La grille de risque

Elle sert à classer les situations par rapport au risque de lixiviation de l'azote, selon les milieux, les systèmes de culture, le fonctionnement des exploitations.

Elle croise « **milieu et système de culture** » et constitue un outil stratégique pour le comité de pilotage des opérations Ferti-Mieux. Elle permet de fixer les priorités d'action et de visualiser des pratiques sur les situations à risques.

Trois étapes :

- la détermination des systèmes de cultures (rotations et pratiques, ajustement de la dose d'azote)
- la hiérarchisation des risques de sensibilité des milieux (type de sol) et de l'agressivité des systèmes de cultures
- évolution de la grille de risque

Variabilité interannuelle des potentialités agricoles	Risques de lessivage des nitrates au delà de la portée des racines les plus profondes durant les cycles culturaux successifs		
	Faibles à nuls	intermédiaires	Forts à certains
Faible Besoins en azote assez prévisibles	A	B	C
Forte * Besoins en azote peu prévisibles	D	E	F

C'est une démarche progressive qui se veut de plus en plus précise. Elle met en relation une pratique et ses conséquences sur le niveau probable de pertes de nitrates. Elle permet de positionner les risques d'erreur grave, les pratiques auxquelles ils sont liés, et les systèmes de productions à privilégier dans le conseil.

#### ⇒ la quantification des flux de rejets

Le but est de construire un tableau de bord quantitatif de l'impact des pratiques, exprimé en flux de pertes probables de nitrates par lixiviation ou ruissellement à l'unité de surface. Un contrôle expérimental des relations entre pratiques et quantités de pertes est donc nécessaire sur des parcelles réelles (mesures ponctuelles, autant que possible en parcelles agricoles, ou modélisation).

**Les références permettent d'affiner la grille de risque qui devient un outil d'expertise : connaissant l'impact de chaque pratique dans chaque milieu et selon les variations climatiques, on peut estimer l'impact de tous les systèmes de culture, aux trois échelles d'observation (parcelle, exploitation et bassin).**

Pour les deux premières étapes, les renseignements sont issus de déclarations d'agriculteurs ou d'experts pour décrire les pratiques. Pour la troisième étape, la mesure est indispensable pour donner des preuves de la réduction des risques.

#### En pratique

Le suivi est réalisé par les Chambres d'agriculture qui mettent en place les actions. L'objectivité de cet autocontrôle peut être remise en cause de même que la sincérité des agriculteurs lors des enquêtes de terrain. Ces enquêtes sont menées auprès d'un échantillon d'agriculteurs élaboré en fonction de la diversité des situations rencontrées sur le secteur.

Sur certaines opérations, d'autres organismes interviennent dans le suivi de l'évolution comme c'est le cas à Gorze où la Société Mosellane des Eaux (SME) suit un réseau de mesure de la qualité des eaux superficielles et souterraines mais cela reste une exception et sur les opérations du Haut-Sainthois, Ferti Ouest 88 et Rupt de Mad où intervient l'INRA de Mirecourt.

Le suivi des opérations Ferti-Mieux est variable selon les Chambres d'agriculture concernées. D'autres indicateurs sont souvent pris en compte en plus ou en remplacement de ceux préconisés par le guide CORPEN. Les actions menées avant 1997 (date d'élaboration du guide) n'ont pas les mêmes méthodes de suivi que les plus récentes.

Cela pose plusieurs difficultés : d'une part une comparaison difficile des résultats entre actions et d'autre part une comparaison impossible entre années pour une même action s'il y a un changement d'indicateurs.

#### INDICATEURS D'EVOLUTION DES PRATIQUES autres que le solde CORPEN

- ⇒ solde BASCULE: Evaluer les risques de lessivage pour chaque système de culture. Etude sur 4 ans fonction de la nature du sol et des rendements
- ⇒ Indicateur azote = évaluation des risques à l'échelle de la parcelle sur une année (entrée hiver année n à entrée hiver année n+1) volatilisation, lessivage. Référence à la production intégrée.
- ⇒ Balance azotée annuelle à la parcelle en fonction des types de sol
- ⇒ Balance azotée adaptée à une situation particulière, propre à certaine action.

La multitude des indicateurs de solde azoté rend leur comparaison impossible et entraîne souvent des confusions, des erreurs car ils ont tous les particularités qui sont liées au contexte local mais qui ne permettent pas d'étendre leur utilisation. Il est important de préciser à chaque fois les modalités de calcul pour savoir ce qui est pris en compte et ce que ça représente.

#### EVOLUTION DES PRATIQUES par type de production

Les indicateurs d'évolution des pratiques sont très nombreux. Chaque itinéraire technique est détaillé, par système de culture. Toutes les phases sont suivies et analysées. Ils peuvent être exprimés en superficie (ha) ou en nombre d'agriculteurs concernés. Ils renseignent sur le raisonnement de la fertilisation minérale et organique, la gestion des intercultures, la gestion des effluents d'élevage, ... Le suivi des bonnes pratiques agricoles est comparé à celui de l'année précédente afin de voir leur évolution et l'impact des conseils.

Toutes ces données issues d'enquêtes auprès des agriculteurs permettent d'établir la balance azotée sur le secteur, de comprendre son évolution en détaillant chaque indicateur et d'établir une nouvelle grille de risque qui sera comparée à la grille de risque initiale.

#### GRILLE DE RISQUE

Elle est réalisée selon la méthode CORPEN pour les actions mise en place après 1997 pour la situation initiale. Les bilans d'évaluation des autres actions sont réalisés avec cette méthode mais la comparaison avec la situation initiale est rendue difficile voir impossible. Certaines actions maintiennent donc leur mode d'évaluation de départ.

#### QUANTIFICATION DES PERTES EN NITRATES

Cette étape préconisée par le CORPEN n'est pas réalisée sur les opérations Ferti-Mieux. Les évaluations s'arrête à l'élaboration de la grille de risques sans quantifier les flux. Il faut noter néanmoins des actions ponctuelles pour aller plus loin :

## Annexe 10 : Dispositif de mesure des eaux de ruissellement

### 1. Schéma du dispositif

### 2. Mise en œuvre

Le dispositif de collecte du ruissellement en zone agricole est relativement complexe à mettre en œuvre.

Il faut dans un premier temps isolé hydrauliquement les parcelles concernées. Des bordurettes de jardin ou des tôles ondulées accompagnées de bordures enherbées peuvent être utilisées. Ce dispositif peut constituer une gêne aux pratiques agricoles en raison de l'émergence des dispositifs permettant l'isolement hydraulique des parcelles. Elles doivent être dimensionnées par rapport aux outils utilisés par l'agriculteur.

Si cette condition n'est pas remplie, seules les concentrations seront accessibles, les volumes ne seront pas fiables car ils ne seront pas reliés à une surface précise.

La collecte des eaux peut se faire dans des réceptacles en tôles ou des caniveaux en bas de parcelles. Ils sont reliés entre eux par des canalisations qui transportent les eaux vers une cuve de stockage. Les mesures sont réalisées au niveau de ces cuves avec des débitmètres, des préleveurs automatiques ou non. Le suivi de ce dispositif peut être rendu assez souple en fonction de la capacité de stockage des cuves. Il reste néanmoins dépendant des précipitations d'où son irrégularité dans le temps. En effet, des mesures et des prélèvements doivent être effectués à chaque événement pluvieux pour avoir une bonne représentativité des eaux collectées. On a une réponse immédiate suite à une pluie d'intensité suffisante sur les quantités perdues par ruissellement. Les analyses seront fonction du volume d'eau collecté dans les cuves.

La mesure des débits nécessite un investissement lourd en matériel et en mise en œuvre. C'est la variable la plus difficile à déterminer avec précision et fiabilité.

### 3. Représentativité des prélèvements

Si les parcelles sont isolées hydrauliquement, l'eau collectée correspondra à l'eau qui est tombée et qui a ruisselé sur la surface concernée en fonction de la nature du couvert végétal, de son niveau de développement et des apports réalisés. Les volumes stockés peuvent être ramenés à une superficie. Si ce n'est pas le cas, l'origine de l'eau est incertaine de même que la zone concernée par le ruissellement collecté. Dans les deux cas, l'eau collectée correspond aux eaux de ruissellement uniquement, pour chaque événement pluvieux si la cuve est vidée entre chaque mesure.

Si les volumes recueillis sont suffisants, les mesures des concentrations en nitrates et en produits phytosanitaires peuvent être réalisées simultanément.

Les dispositifs sont mis en place sur des surfaces restreintes. Il faut suivre un certain nombre de parcelles pour avoir une bonne représentativité de la diversité d'un bassin versant.



#### 4. Données nécessaires

Avant la mise en place du dispositif, il paraît nécessaire de connaître la part de ruissellement, liées au type de sol et à son occupation, sur le secteur et les zones concernées pour juger de son utilité, dimensionner le dispositif et le disposer au meilleur endroit.

Les données pluviométriques (durée et intensité des précipitations) sont indispensables pour analyser les résultats de même que la connaissance des systèmes de culture où ruissellent l'eau collectée : nature du couvert végétal, stade de développement, fertilisation et traitements réalisés avec une importance particulière pour les dates et les doses.

#### 5. Variables mesurées et exploitations possibles

Si les parcelles sont isolées hydrauliquement et disposent d'une cuve de stockage, les volumes d'eau ruisselée et les concentrations sont mesurées. On peut en déduire un flux de pertes par ruissellement, comparable aux quantités apportées et aux précipitations. Les volumes d'eau ruisselée entre dans l'établissement du bilan hydrique. La connaissance des concentrations permet néanmoins de suivre leur évolution annuelle et interannuelle en sachant que des écarts importants peuvent se produire en fonction des précipitations.

Ces données permettent d'estimer les quantités perdues vers les eaux de superficielles, le pourcentage de transfert des produits en pourcentage des doses appliquées.

#### 6. Précaution, limite

Il faut assurer l'isolement hydraulique des parcelles pour pouvoir rapporter les caractéristiques des eaux de ruissellement à une surface et à des pratiques.

Il faut également être sûr de collecter l'ensemble des eaux pour avoir des volumes représentatifs.

Il faut collecter les échantillons à chaque évènement pluvieux.

#### 7. Utilisation actuelle

Ces dispositifs sont principalement utilisés dans le cadre de la recherche et par les Institut Techniques (ITCF). Ils ont été mis en place dans des expérimentations visant à évaluer l'efficacité des bandes enherbées par rapport aux pertes par ruissellement. Des bassins versants ont également été équipés afin d'étudier le transfert des éléments par ruissellement, sur le site de Rouffach en Alsace par exemple, dans le cadre d'une thèse.

## Annexe 11 : Mesure des reliquats dans le sol

### 1. Mise en œuvre

L'étude des éléments dans le sol est réalisée à partir de prélèvements de sol. Ils sont effectués par carottage à la tarière. L'épaisseur des tranches peut varier de 15 à 30 cm, la profondeur de prélèvement peut aller de 90 cm à 1.5 m. Un prélèvement résulte en général du mélange de plusieurs sondages sur une petite surface (en général 4 sondage sur 1 m<sup>2</sup>).

Cette méthode est très simple et très peu coûteuse. La fréquence de prélèvement est à définir selon l'objectif à atteindre de même que le nombre de répétition et la profondeur. Le nombre d'échantillons à prélever est important de même que la fréquence de suivi temporel, ce qui rend rapidement cette technique lourde à mettre en œuvre et relativement pénible.

Les prélèvements à la tarière sont difficiles dans les sols caillouteux et ne permettent pas d'accéder à la teneur en eau du sol de façon précise. La profondeur d'échantillonnage est limitée dans les sols superficiels caillouteux ou dans des sols très secs, surtout avec une tarière à main. Cela nécessite une mécanisation qui rend le travail moins pénible et diminue la main d'œuvre mais augmente le coût.

Le prélèvement d'un échantillon du sol par carottage est une méthode destructive mais l'extraction même ne modifie pas les teneurs en éléments. Le caractère destructif pose des difficultés méthodologiques lors de la mise en place d'un suivi dans le temps. Les prélèvements ne se font pas à des postes fixes, ce qui peut rendre les résultats incomparables notamment sur des sols très hétérogènes. Le plan d'échantillonnage et la mise en œuvre sur le terrain nécessitent une attention particulière.

Un suivi dans le temps peut être réalisé en faisant des prélèvements de terre régulièrement sur un secteur pour connaître l'évolution des teneurs en nitrates et en produits phytosanitaires dans le sol. Cela nécessite une main d'œuvre et un temps de travail important.

D'après GAURY (1992) il est plus judicieux d'apprécier le stock en élément dans les périodes de relative stabilité. Trois époques sont ainsi définies : reliquat post-récolte (RPR), reliquat entrée hiver (REH) et reliquat à la sortie de l'hiver (RSH). La période entrée de l'hiver correspond au moment où débute le drainage de l'eau quand le profil cultural atteint la capacité au champ. Le RSH semble le meilleur indicateur du risque de perte en nitrate par lessivage. La quantité d'élément qui quitte le profil peut être déduite par la comparaison REH-RSH (si arrêt prolongé de la minéralisation en hiver). Cette réflexion peut être étendue aux produits phytosanitaires. Dans ce cas deux ou trois interventions suffisent pour évaluer le stock d'élément présent et pouvoir les comparer pour en déduire les pertes.

### 2. Représentativité des prélèvements

Les prélèvements de sol concernent des volumes de sol très peu importants, il est nécessaire de procéder à de nombreuses répétitions pour prendre en compte l'hétérogénéité du milieu et s'assurer de représentativité des résultats.

Les concentrations en nitrates et en produits phytosanitaires peuvent être mesurées dans la solution du sol obtenue. L'extraction peut se faire avec différents solvants plus ou moins puissant ( de l'eau à l'acide chlorhydrique). Différentes fractions de l'eau du sol peuvent ainsi être obtenues. Elles correspondent à l'eau plus ou moins mobile du sol en fonction du solvant utilisé qui a une grande importance dans la représentativité de la solution du sol obtenue de même que le temps de mise en contact qui peut aller de quelques heures à quelques jours.

Les concentrations obtenues donnent une information sur les quantités présentes dans le sol au moment du prélèvement. Cette quantité est plus ou moins mobilisable et lessivable. Ces valeurs n'informent pas sur les quantités lessivées car la dynamique de l'eau et des éléments dans le sol ne sont pas prise en compte [SCHIAVON, 2000].

Pour un suivi de la qualité du milieu, deux approches sont donc possibles :

- Evaluer le stock total en éléments et suivre son évolution au cours du temps en sachant que de nombreux facteurs vont l'influencer. Pour cela il faut utiliser un solvant puissant comme l'acide chlorhydrique. Ces données surestiment donc les risques de transfert vers les eaux.
- Evaluer le stock d'élément facilement mobilisable et potentiellement lessivable en faisant une extraction à l'eau. On a une meilleure approche des pertes réelles au risque de les sous estimer en cas d'évolution des éléments dans le sol.

Le choix des dates de prélèvement a une importance capitale pour pouvoir évaluer les quantités lessivées et comprendre les concentrations observées. A l'automne, il faut intervenir à la reprise de drainage mais à la fin de la minéralisation pour les sols nus ; au printemps, il faut intervenir avant les pluies et avant la reprise de la minéralisation et de l'efficacité du système racinaire [GOSSELIN, 1994]. Il faut intervenir juste avant et juste après la période de drainage.

Les concentrations obtenues vont dépendre de la profondeur de prélèvement. Il paraît indispensable de faire des prélèvements sur différents horizons (0-30 ; 30-60 ; 60-90 cm) pour comprendre l'évolution dans le sol et déterminer les risques de transferts vers les eaux souterraines. Pour évaluer les quantités lessivées en comparant deux prélèvements, il faut prélever sur plus de 40 cm [GAURY, 1992] auquel cas aucune interprétation n'est possible.

La mesure des concentrations en nitrates dans les sols est une méthode largement utilisée pour élaborer des profils d'azote nitrique et pour estimer les potentialités des sols. Les mécanismes de transferts et d'évolution des nitrates dans le sol étant relativement bien connue, les résultats obtenus et l'interprétation qui en est faite peuvent être considérés comme fiables. Par contre de nombreuses difficultés se présentent concernant les produits phytosanitaires. En effet leur évolution dans les sols est encore mal connue et tout particulièrement celle des nouvelles molécules qui sont mises sur le marché. Les nombreux phénomènes comme la dispersion et la dégradation compliquent leur suivi et rendent l'interprétation des résultats délicate à l'heure actuelle. Seule une détermination du stock total en produits phytosanitaires sur différentes profondeurs est envisageable.

Toutes les valeurs obtenues restent représentatives de l'état du sol à un point et à un moment donné qu'il faut choisir judicieusement et répéter de nombreuses fois dans le temps et dans l'espace. Cette méthode permet de faire un échantillonnage spatial de l'hétérogénéité entre les parcelles et dans une même parcelle, sans être « prisonnier » d'un site.

### 3. Données nécessaires

Il faut avoir une connaissance approfondie du sol et du sous-sol, sa nature, l'hétérogénéité, la densité apparente pour interpréter les résultats et les données climatiques sur le site d'étude.

Il faut élaborer précisément le plan d'échantillonnage (fréquence, date, lieux) et définir les méthodes de prélèvement, de suivi et d'analyse de l'échantillon.

#### 4. Variables mesurées

Les prélèvements de sol permettent de mesurer les reliquats en éléments dans le sol à un moment donné en un point donné. Associé à des volumes de drainage ou à une estimation des flux drainés, les quantités perdues peuvent être calculées. Pour les nitrates, le modèle de BURNS permet de simuler de façon assez fiable le lessivage des nitrates à partir du reliquat entrée hiver. La simulation est beaucoup plus difficile pour les produits phytosanitaires.

Les prélèvements à différentes profondeurs permettent de réaliser le profil en élément dans une colonne de sol et de suivre son évolution vers les nappes, mais avec beaucoup de précautions.

#### 5. Précaution, limite

La manipulation de l'échantillon est une étape importante de même que le stockage, le conditionnement, le transport, la conservation et l'analyse. De nombreuses précautions sont à prendre pour garantir la fiabilité des résultats. Les méthodes mises en œuvre sont à définir précisément.

Les principales incertitudes concernent le volume de la lame d'eau drainée et la part du drainage vertical et latéral en fonction du type de sol, ainsi que la variabilité de la répartition spatiale des éléments à l'échelle métrique.

#### 6. Utilisation actuelle

Les prélèvements de sol ont toujours été utilisés pour étudier le sol, sa nature et sa composition en agronomie.

## Annexe 12 : Les réseaux de drainage

### 1. Schéma d'un dispositif de suivi des eaux de drainage (Lycée de Courcelle Chaussy)

#### 2. Mise en œuvre

Si le réseau de drainage est existant, il faut isoler hydrauliquement les parcelles si c'est possible et l'équiper à son exutoire d'un dispositif de collecte d'échantillons des eaux de drainage et de mesure de volumes afin d'évaluer le flux de substances drainées. Des parcelles de 2 à 3 hectares fournissent déjà des résultats représentatifs. C'est la taille moyenne des surfaces drainées sur les sites expérimentaux.

Une station de mesure contenant des bacs de récupération des eaux drainées peut être installée si les volumes drainés (fonction de la surface) ne sont pas trop importants. Chaque bac, équipés d'un préleveur automatique par type de substances et de sondes débitométriques reliés à des boîtiers enregistreurs, permet d'obtenir les hauteurs d'eau converties ensuite en débit moyen par jour et par hectare. Les prélèvements peuvent se faire en fonction du temps ou du débit et les échantillons, relevés tous les jours pour les nitrates et toutes les semaines pour les produits phytosanitaires, sont analysés en laboratoire. Ce dispositif a été mis en place à Courcelle Chaussy [ANTOINE, 1998].

Ces dispositifs peuvent s'avérer coûteux et très encombrant, à moins de se limiter à la seule mesure des concentrations à pas de temps ou de précipitations réguliers.

Une personne doit aller sur place collecter les échantillons pour les analyser. Le rythme de collecte est plus important en période de drainage (automne, hiver, début printemps), il peut être très réduit en période estivale, si on choisit de suivre les précipitations.

Le suivi des eaux de drainage nécessite un équipement lourd et encombrant si on veut mesurer les quantités et les concentrations. Il nécessite une source d'énergie sur le site et une protection (cabane). Une personne doit être affecter à la collecte des échantillons en fonction du temps, le suivi est plus contraignant s'il est fait en fonction du débit.

#### 3. Représentativité des prélèvements

Le réseau de drainage intègre toute la variabilité du terrain jusqu'au changement de type de sol : à l'échelle de la parcelle, il y a homogénéisation et globalisation des caractéristiques physiques du milieu. Le sol est considéré comme une boîte noire : l'hétérogénéité est intégrée, mais elle n'est pas mesurée.

Les eaux de drainage, comme les eaux de ruissellement rejoignent les eaux de surface via la tranchée de drainage et les drains, mais elles se distinguent de celles-ci car elles traversent au préalable la couche de labour. On peut ainsi considérer la parcelle drainée comme une immense case lysimétrique et les eaux de drainage comme des percolats. Dans ces conditions, le suivi de leur qualité informe également sur les risques de contamination des eaux souterraines à condition de connaître les effets induits par une rupture de la perméabilité entre l'horizon de surface et la partie inférieure du profil [ENSAIA, 1996].

Les eaux transitant dans un réseau de drainage peuvent avoir plusieurs origines. Les réseaux de drainage ont été mis en place pour augmenter la surface de terre cultivable. Pour cela, l'excès d'eau présent dans certain secteur doit être exporté. Il a pour origine, soit la saturation rapide du sol suite à des précipitations (en prairie), soit l'affleurement d'une nappe phréatique. Le réseau de drainage permet d'augmenter la vitesse de circulation de l'eau dans le sol et de l'évacuer rapidement vers les eaux de surface. Il faut noter également qu'il peut exister un transfert direct vers les drains par des fentes de retrait en fonction du type de sol et donc le transfert direct des substances à l'état soluble ou adsorbé aux particules, en été par exemple sur des sols argileux fissurés. La composition de l'eau donc sera différente selon son origine.

Les eaux collectées permettent de suivre l'ensemble des substances épandues sur la zone d'étude susceptibles de se retrouver dans les eaux comme les nitrates et les produits phytosanitaires. Un suivi simultané ne semble pas poser de problèmes à condition de prélever des quantités d'eau suffisantes pour les analyses.

#### 4. Données nécessaires

L'étude des précipitations est indispensable dans le suivi d'un réseau de drainage de même que l'analyse des pratiques et des assolements. Une station météorologique doit être associée à chaque site.

La surface drainée doit être connue précisément de même que l'emplacement des drains et leurs caractéristiques (diamètres, écartement, profondeur) qui ont une influence sur la représentativité de la solution du sol collectée.

Les caractéristiques géographiques et géologiques du site, propriétés des sols : caractéristiques hydriques (piézomètre, tensiomètres...) et physiques doivent être étudiées.

#### 5. Variables mesurées et exploitation possible

Les parcelles drainées permettent d'avoir accès simultanément aux flux et aux concentrations de l'eau drainée par le sol, et ainsi d'établir un bilan des pertes par hectare.

⇒ Données hydrauliques : période de drainage, débit de pointe, quantité totale d'eau drainée (en m<sup>3</sup>/ha et en mm, en % de la pluviométrie).

⇒ Données qualitatives : concentration moyenne pondérée en élément et flux drainés.

Par contre les flux issus des réseaux de drainage ne peuvent être rapportés précisément à une surface que dans le cas de sites isolés hydrologiquement où la provenance de l'eau est clairement définie, encore faut-il que le substrat soit tout à fait imperméable. L'incertitude sur la surface collectée par un drain se répercute totalement sur le calcul du bilan.

Pour la représentativité des résultats, il faut toujours prendre en compte la concentration et la quantité d'eau drainée. On en déduit une quantité totale drainée que l'on divise ensuite par la quantité d'eau drainée par période pour suivre l'évolution des concentrations.

## 6. Précaution, limite

Les premières eaux collectées au début de la période de drainage sont toujours très chargées et leur représentativité est limitée à la fois pour les nitrates et les produits phytosanitaires.

*Par rapport au suivi des produits phytosanitaires :*

- ⇒ Persistance sur de longue période dans les sols, en particulier l'atrazine et ses métabolites [ANTOINE, 1998], les concentrations obtenues peuvent être le reflet d'applications antérieures.
- ⇒ La diminution des concentrations et des quantités écoulées est très liée aux conditions climatiques après traitement, au délai entre l'application et les premières pluies drainantes permettant ou non la dégradation dans le sol. Des pluies drainantes peuvent occasionner 70% des flux en une semaine [ANTIONE, 1998].
- ⇒ Etablir une liste des substances suivies : la méthode SIRIS peut être utilisée sur des petite région, elle est fonction des substances utilisées (usage, quantité), de leur propriétés physicochimiques et de leur toxicité. Cette liste est aussi fonction des méthodes de dosages de produits phytosanitaires qui ne sont pas toujours réalisées par les laboratoires, en particulier pour les nouvelles molécules

## 7. Utilisation actuelle

Les eaux de drainage ont fait l'objet de nombreuses études dont les principales conclusions ont servi de base à ce document. Plusieurs sites expérimentaux lorrains sont étudiés:

- le site de la Bouzule suivi par l'ENSAIA,
- le site du lycée agricole de Courcelle-Chaussy suivi par l'équipe de la station d'expérimentation. Depuis 1986, le lycée agricole de Courcelles Chaussy dispose d'un site expérimental permettant de suivre la qualité des eaux. Il a servi à suivre d'un part la réduction de la pollution des eaux de drainage par les nitrates et d'autre part par les produits phytosanitaires depuis 1992,
- la station de drainage installée à Mirecourt suivie par l'INRA.

## Annexe 13 : Les lysimètres

### 1. Schéma des dispositifs (lysimètre fermé et ouvert)

### 2. Mise en œuvre

#### ① Les lysimètres fermés

La mise en place de lysimètres fermés nécessite une intervention lourde dans la parcelle. Il faut soit extraire une partie du sol pour mettre en place la cuve étanche, soit la mettre en place autour d'un monolithe de sol. Malgré les précautions prises lors de la mise en place des matériaux, le problème de la reconstitution du profil initial du sol se pose. Il est nécessaire d'attendre plus ou moins longtemps pour permettre aux matériaux de se remettre en équilibre. La durée d'homogénéisation d'un sol en case est relativement longue : 2 à 3 ans. La difficulté et le coût dépendent de leur conception : la construction autour d'un monolithe en place est la technique la plus lourde et délicate à la mise en œuvre.

Pour chaque dispositif une cavité est creusée à côté du lysimètre pour récupérer les eaux drainées.

Il faut les placer en bordure de parcelle pour éviter au maximum la gêne aux pratiques agricoles qui restent néanmoins importantes.

Comme tout dispositif *in situ*, sa mise en place engendre des perturbations du milieu :

- rupture du lien capillaire au niveau du plancher de drainage = perturbation de la dynamique de l'eau et modification de la circulation de l'eau dans le sol ;
- variation de la conductivité hydraulique et des délais de transferts ;
- variations possibles des teneurs en nitrates par dénitrification, modification des échanges entre les phases mobiles et immobiles ;
- sous-estimation du flux d'eau à cause de la discontinuité de la tension [GAURY, 1992]

#### ② Les lysimètres ouverts

Ce sont des lysimètres de conception plus récente que les précédents. Ces lysimètres sans paroi latérale conservent mieux la structure du sol. La plaque drainante est enfoncée latéralement dans le sous-sol à partir d'une fosse creusée préalablement, qui sera utilisée pour la collecte des eaux de drainage. La construction est plus simple et moins coûteuse que celle des lysimètres fermés. Leur mise en place ne perturbe pas ou peu le sol et le sous-sol.

Ils présentent moins de gênes aux pratiques agricoles et peuvent donc être installés dans des parcelles cultivées. Les mêmes perturbations que pour les lysimètres fermés sont présentes avec d'autres contraintes mais principalement le risque d'écoulements latéraux en fonction de la nature du sol et du sous-sol.

Il existe deux types de lysimètres ouverts : les lysimètre avec ou sans dépression ce qui va modifier la mise en œuvre et obliger la présence d'une source d'électivité dans le cas des lysimètre avec dépression.



### 3. Représentativité des prélèvements

Pour les lysimètres fermés, le volume de sol étant parfaitement défini, ils sont les seuls dispositifs permettant la mesure directe et simultanée des volumes et des concentrations des eaux drainées.

Le calcul des bilans hydriques et minéraux, prenant en compte les postes d'entrée (pluie, engrais minéraux et/ou organiques, produits phytosanitaires) et de sortie (exportation par les récoltes, pertes par drainage), est donc facile à établir. Ils extraient l'eau gravitaire non liée et la fraction la plus disponible de l'eau capillaire, représentative, du point de vue chimique, de l'eau drainée vers les nappes.

Par contre, la surface drainée par le lysimètre est en général de 1 m<sup>2</sup>. Il faudrait qu'ils soient plus conséquents pour prendre en compte l'hétérogénéité du sol.

Pour les lysimètres ouverts, il subsiste une incertitude dans la mesure des volumes drainés et des quantités lessivées car on ne peut assurément de la concordance exacte des surfaces de la plaque drainante et de la surface de sol concernée. Les bilans établis à partir de ces dispositifs, sont souvent sujets à caution. En fonction du type de dispositif l'eau récupérée sera différente. Les dispositifs sous tension récupèrent l'eau gravitaire et une fraction importante de l'eau capillaire, par contre les dispositifs sans tension récupèrent le même type d'eau que les lysimètres fermés (eau gravitaire et la part mobile de l'eau capillaire). La surface de sol drainée peut être plus importante que celle drainée par les lysimètres fermés, il y a une intégration plus importante de l'hétérogénéité du sol. Il faut prendre en compte les écoulements latéraux.

### 4. Données nécessaires

Préalablement à la mise en place d'un lysimètre, il faut :

- une description précise du profil de sol ;
- les matériaux et les conditions de mise en place pour les sols reconstitués ;
- analyse granulométrique et chimique, éléments fertilisants complètent les données ;
- mesure de conductivité hydraulique pour une modélisation des transferts.

Tout dispositif lysimétrique doit obligatoirement être équipé d'un poste météorologique.

### 5. Variables mesurées et interprétation

#### Paramètres fondamentaux mesurés

- volume d'eau drainée à la base du lysimètre, D, en hauteur d'eau (mm)
- concentration en élément dans les eaux qui percolent C (en mg/l)

Ces éléments permettent de calculer la quantité d'azote lessivé N<sub>less</sub> (en kg/ha) :

$$N_{less} = V * C * 0.01$$

Ces données permettent d'établir un bilan des pertes à l'hectare.

## 6. Précaution, limite

Le suivi des lysimètre et l'acquisition des données doit suivre une méthodologie bien définie :

- pour mesurer le volume d'eau drainée, on préférera la pesée.
- Mesure journalière des volumes et stockage sur les sites
- Homogénéisation de la solution avant prélèvement
- En période de drainage, la fréquence de prélèvement sera faite sur une base hebdomadaire (jour fixe) ou décadaire ou à volume constant de précipitation ou de drainage ( pas de 50 mm de pluie).
- Volume à prélever fonction des analyses (0.5 à 1 litre)
- Analyses minimum à faire : volume d'eau drainée, pH, anions, cations.

Il faut prendre en compte :

- perturbation de la dynamique de l'eau en raison de la rupture du sol imposée
- l'eau gravitaire est accessible sans dépression, sinon l'eau capillaire est également prélevée => problème de représentativité en tant que solution du sol.
- Les écoulements latéraux ne sont pas pris en compte, ils peuvent être modifiés.

## 7. Utilisation actuelle

Les lysimètres sont utilisés en France depuis les années 1960. Cette technique à apporter sa contribution pour étudier de nombreux thèmes. Les deux principaux sont l'étude du lessivage et des pertes par drainage (pollution et fertilisation) et l'étude des amendements organiques, des bilans minéraux et hydriques et de la gestion des intercultures. Ils ont été surtout mis en place par des instituts de recherche, des instituts techniques et des organismes professionnels comme les lycées agricoles et les chambres d'agriculture [MULLER, 1990] dans le cadre d'expérimentations. L'ouvrage « Trente ans de lysimétrie en France : 1960-1990 » présente un inventaire des sites lysimétriques où sont menées des études agronomiques. Il est à compléter avec les dispositifs mis en place plus récemment.

## Annexe 14 : Les bougies poreuses

### 1. Schéma des dispositifs (bougie poreuse verticale et horizontale)

### 2. Mise en œuvre

Les bougies poreuses peuvent être implantées verticalement ou horizontalement, ce qui va être déterminant pour leur suivi et les résultats obtenus.

#### ① Les bougies verticales

La mise en place d'une bougie poreuse verticale peut se faire de la manière suivante : un trou de diamètre correspondant à celui des bougies poreuses est creusé à la tarière jusqu'à la profondeur désirée. Afin de garantir un bon contact hydraulique entre le sol et la céramique, la boue doit être déposée au fond du trou et appliquée à la céramique. La bougie est alors enfoncée dans la boue et l'espace entre la bougie et le sol peut être comblé avec le reste de terre prélevée à la tarière. Pour éviter les écoulements parasites le long des parois, un capuchon peut couvrir les bougies. Le temps d'installation et le coût varie en fonction du nombre de répétitions et de la profondeur choisie. Pour prendre en compte l'hétérogénéité spatiale de répartition des flux dans les sols, il est nécessaire d'installer un nombre suffisant de capteur sur une petite surface.

Une fois mise en place, une dépression est appliquée afin de faire passer la solution du sol à l'intérieur de la bougie ; l'eau entrée est ensuite aspirée et analysée. Le rythme des prélèvements est à définir, en général ils sont réalisés toutes les semaines.

L'implantation verticale est la manière la plus courante de mise en place de la bougie. La mise en œuvre est simple et la perturbation du site est minimale. Ce dispositif permet de faire des nombreuses répétitions d'une même modalité sur une petite surface afin d'avoir des résultats représentatifs.

Si l'implantation est facile, les bougies n'en constituent pas moins une gêne aux pratiques agricoles. Il faut les mettre en place après le travail du sol et le semis et les retirer avant une intervention lourde comme le labour. Cela nécessite plusieurs interventions de mise en place au cours d'une année culturale. Cet inconvénient entraîne la non reproductibilité des mesures. En effet, il est difficile d'implanter la bougie exactement au même endroit à chaque mise en place, la comparaison des résultats obtenus doit tenir compte de ce biais. Il peut être négliger dans des sols homogènes, par contre dans des sols caillouteux à circulation préférentielle, l'eau recueillie peut être très variable d'un point à un autre, d'où la nécessité de faire plusieurs répétition sur une petite surface. Cette modalité présente également le risque non négligeable d'écoulement préférentiel le long de la canne.

## ② Les bougies horizontales

En général, un dispositif de bougie horizontale comprend 7 capteurs répartis en étoile sur un cercle d'environ 3 m de diamètre, à 1 mètre de profondeur. Ce chiffre de 7 bougies semble un bon compromis entre l'obtention d'une valeur moyenne représentative des teneurs en nitrates de la solution mobile du sol et le coût du matériel.

Il faut compter une bonne journée de travail à deux personnes pour l'installation d'un site de 7 bougies poreuses horizontales.

La principale difficulté réside dans la réalisation d'un contact étroit entre la céramique poreuse et le sol. De toute façon, des modifications du transfert de l'eau sont à craindre, car les caractéristiques du milieu avoisinant ne sont pas celle du sol en place. Il faut attendre un certain temps avant que les modifications éventuelles dues à la mise en place s'estompent.

Le prélèvement est rapide et facile quand les conditions climatiques sont favorables. Il s'effectue en bordure de parcelles agricoles sans avoir à y pénétrer. En période hivernal des problèmes de gel des tuyaux et de manipulation des échantillons peuvent se poser. Une dépression est appliquée pendant deux jours avant de collecter les échantillons. Le protocole de collecte, de stockage et d'analyse doit être définie préalablement. Le rythme de prélèvement doit être établi selon les moyens matériels et humains disponibles, il peut se faire périodiquement ou selon les précipitations ce qui engendre une irrégularité dans le suivi.

Ce type d'implantation n'occasionne aucune gêne pour les pratiques culturales. Les agriculteurs peuvent mettre en place toutes les pratiques agricoles qu'ils souhaitent. La seule limite concerne le sous-solage profonds [BENOIT, 1995].

La mise en place des bougies poreuses en parcelle agricole implique l'accord des agriculteurs concernés et leur intérêt pour ces mesures.

## 3. Représentativité des prélèvements

Les prélèvements par bougies poreuses concernent des volumes de sol très peu important, il est nécessaire de procéder à de nombreuses répétitions pour prendre en compte l'hétérogénéité du milieu et s'assurer de la représentativité des résultats.

La profondeur est un paramètre très important car un gradient de concentrations a été observé dans le sol [INRA, 1998]. En effet, les produits phytosanitaires notamment sont dégradés dans la couche de labour puis ils migrent en profondeur. Ils peuvent être immobiliser ou au contraire remis en solution avant d'être entraînée vers les nappes. Ce qui est mesuré dans la solution du sol ne provient pas forcément des pratiques actuelles. Le temps de latence est moins grand qu'au niveau des sources mais il persiste quand même. Des résidus d'atrazine et ses métabolites sont retrouvés des années après l'arrêt de leur application de même que le lindane. Cela pose le problème de la représentativité de la solution du sol prélevé par les bougies poreuses. Il faut définir la zone de prélèvement de la bougie.

L'eau récupérée dans les bougies correspond à l'eau mobile du sol, gravitaire à laquelle s'ajoute une partie d'eau capillaire extraite selon la dépression appliquée. L'eau capillaire ne s'infiltre pas vers les nappes, elle peut surestimer ou sous-estimer les flux susceptibles de polluer les eaux souterraines.

L'extraction de la solution du sol s'avère bien adaptée au suivi dans le temps de l'évolution de la teneur en éléments sortant hors de la zone de prélèvement par les racines. Un certain nombre de dispositifs équipés de bougies poreuses en place depuis un temps suffisant pour avoir tester la validité de cet outil [MULLER, 1990].

### ① Les bougies verticales

Les bougies poreuses verticales donnent des résultats ponctuels concernant un point de prélèvement, soit un volume de sol de quelque cm<sup>3</sup> par bougie (sphère) [GAURY, 1992]. En effet, la variabilité spatiale et temporelle n'est pas intégrée d'où l'étalement des gammes de concentrations obtenues sur différents points. Les échantillons ponctuels de la solution ne permettent pas l'interprétation de l'ensemble de la variabilité des concentrations d'un flux. De plus il existe une variabilité annuelle qu'il faut prendre en compte dans l'interprétation des données qui est fonction de l'état du sol et des conditions pluviométriques avant et après traitement. Par contre l'évolution des concentrations est globalement identique.

Les bougies poreuses verticales sont adaptées à des suivis sur de courte période.

### ② Les bougies horizontales

Ce dispositif permet de suivre à un poste fixe un système de culture sur une longue période. Par contre ça rend prisonnier d'un emplacement de plus le coût d'un site étant relativement élevé, il est impossible de le multiplier sur le terrain.

L'eau est récupérée au niveau des sept bougies qui couvrent une surface d'environ 7 m<sup>2</sup>. Cela permet d'intégrer une partie de l'hétérogénéité spatiale des flux dans le sol en regroupant les mesures.

Les mesures peuvent être faites tout au long de l'année ce qui permet de suivre l'évolution de concentrations et d'en déduire une concentration moyenne annuel fiable.

## 4. Données nécessaires

Les données nécessaires sont communes aux deux types de dispositifs.

Il faut estimer la lame d'eau drainante à partir de dispositifs associés : méthode du bilan hydrique classique à partir de données météorologiques (pluie et évaporation) mesurées sur le site ou de méthode tensiométriques et plus rarement de comparaison avec des lysimètres fermés implantés et fonctionnant dans des milieux identiques. Cette estimation est sujette à controverse et engendre un biais important dans l'estimation des flux.

Il faut connaître la nature du sol et les types d'écoulement susceptible d'être rencontrés. Certains sol favorise les écoulements latéraux, d'autre les écoulements verticaux. Ces données sont indispensables pour évaluer la représentativité de l'eau collectée au niveau des bougies. Une étude poussée du sol semble nécessaire pour valider et interpréter les résultats.

Un équipement de mesure tensio-neutronique permettant le paramétrage de la conductivité hydraulique en fonction de l'humidité volumique et le calcul des volumes de solution évacuée par drainage (pour une modélisation de transfert) est également nécessaire.

Pour chaque site, il faut enregistrer :

- l'itinéraire technique
- les données climatiques pour permettre le calcul de la lame d'eau drainante.

## 5. Variables mesurées et interprétation

Les bougies poreuses mesurent les concentrations de l'eau mobile du sol. Ainsi placées à une profondeur adéquate, elles peuvent renseigner sur les concentrations des flux qui quittent le profil. En estimant les flux d'eau drainés, on peut ensuite calculer les pertes en nitrates dues au lessivage. Cette estimation des flux drainée peut être sujette à controverse.

On considère qu'une teneur moyenne de l'eau des différentes bougies à 90 cm est représentative de la concentration en éléments de l'eau qui quitte le profil exploité par les racines.

Le lessivage peut être obtenu sur une période par le calcul suivant :

$$LNO_3 = [NO_3] * D$$

Avec :

- $LNO_3$  = perte en nitrate par lessivage
- $[NO_3]$  = teneur moyenne de l'eau extraite par les bougies poreuses
- $D$  = volume drainé sur la période

$$\text{Avec } D_{\text{calculé}} = P - k \text{ ETP} - dH$$

## 6. Précaution, limite

La dépression exercée dans la cellule poreuse crée des perturbations hydrodynamiques dans le volume de sol qui l'entoure. Or cette sphère d'influence varie suivant la nature du terrain et l'état hydrique du sol. Par ailleurs pour les sols à texture fine, la représentativité du prélèvement est mise en défaut car l'hypothèse d'homogénéité de répartition de l'azote dans la phase aqueuse n'est pas justifiée [GAURY, 1992].

Par contre l'emploi des bougies poreuses est tout à fait acceptable dans les sols sableux ou dans les sols où la majeure partie de l'eau circule à travers la matrice poreuses comme les sols de craie.

Un risque d'interaction chimique entre la paroi en céramique, le sol et les ions présents dans la solution du sol est à craindre, principalement par rapport aux produits phytosanitaires.

Le développement végétal, et les rendements sont importants à prendre en compte car ils occasionnent des variations interannuelle non négligeables.

### ① Les bougies verticales

Le principal inconvénient de l'implantation verticale est le risque fortement accru d'écoulement préférentiel le long des parois. Outre les circulations préférentielles dans le sol par les macro porosités et la diffusion latérale par les micro porosité qui ne sont pas pris en compte, il peut y avoir un écoulement rapide de la surface jusqu'à la céramique, du à l'implantation de la bougie. On retrouve alors des concentrations qui ne sont plus représentative de la solution du sol.

Enfin ce dispositif ne permet pas de mesurer les volumes d'eau drainée sous la parcelle, donc l'évaluation des flux est impossible à moins de les simuler. Ceci ajouter au caractère ponctuel des prélèvements ne permet pas de généraliser les résultats.

## ② Les bougies horizontales

La mise en place de bougies horizontales dans des sols à forte proportion de cailloux et/ou présence de dalle calcaire dure s'avère problématiques [GAURY, 1992].

Un soin particulier doit être apporté à la mise en place d'une bougie poreuse car elle détermine sa qualité et la durabilité du fonctionnement. De plus aucun remplacement n'est possible une fois le dispositif enterré.

## 7. Utilisation actuelle

De nombreuses études ont été menées avec des dispositifs bougies poreuses verticales ou horizontales. L'INRA de Mirecourt compte aujourd'hui 52 sites à bougies poreuses horizontales suivies depuis plus de 10 ans. Le CETIOM à Laxou a également installé un site de même que la chambre régionale d'agriculture. En Alsace, l'INRA de Colmar avait mis en place un observatoire de longue durée de l'eau dans le sol avec des bougies poreuses verticales. L'ENSAIA a également conduit des études à partir de cette technique. Ces travaux ont permis de mettre au point des dispositifs plus adaptés et d'en connaître plus précisément les limites.