

VANDOOREN Sébastien
Juin 2005

*Estimation des surplus azotés pour
trois petits bassins versants agricoles
de la Mayenne :
La Vaudelle, l'Erve et la Taude*

Tuteur : BLANCHARD Christophe et MOATAR Florentina

DESS Ingénierie des Hydrosystèmes Continentaux en Europe
Faculté des Sciences et Techniques
Parc de Grandmont
37 200 TOURS

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je désire remercier Christophe BLANGHARD pour l'encadrement qu'il m'a apporté et pour sa disponibilité à mon égard.

Je remercie également Madame Florentina MOATAR et toutes les personnes qui m'ont aidé dans mon travail de recherches bibliographiques.

SOMMAIRE

RESUME	p. 3
SUMMARY	p. 4
LISTE DES FIGURES	p. 5
LISTE DES TABLEAUX.....	p. 6
INTRODUCTION.....	p. 7

PARTIE 1 ⇒ *L'agriculture et la fertilisation*..... p. 8

1. Intérêt des fertilisants dans l'agriculture actuelle	p. 9
1.1. La nutrition des plantes	p. 9
1.2. Les grandes catégories de fertilisant	p. 10
1.2.1. Les engrais	p. 10
1.2.2. Les amendements	p. 11
1.3. Objectif de la fertilisation	p. 11
2. La fertilisation azotée et phosphorée.....	p. 12
2.1. Origine de l'azote absorbé par les plantes	p. 12
2.1.1. Le rôle de l'azote.....	p. 12
2.1.2. Le cycle de l'azote	p. 13
2.1.3. Les fournitures d'azote par le sol	p. 13
2.1.4. Les fournitures d'azote par les engrais de ferme	p. 14
2.1.5. Les fournitures d'azote par les engrais de synthèse	p. 15
2.2. Les besoins de la plante en phosphore.....	p. 15
2.2.1. Le cycle du phosphore.....	p. 16
2.2.2. Devenir des différents apports de phosphore dans le sol	p. 17
3. La fertilisation raisonnée : un sujet d'actualité	p. 18
3.1. La contamination des eaux par les engrais	p. 18
3.1.1. Responsabilité des engrais azotés et phosphatés	p. 18
3.1.2. Les principales préoccupations	p. 19
3.2. Les moyens d'action.....	p. 20
3.2.1. Le code des bonnes pratiques agricoles	p. 20
3.2.2. La fertilisation raisonnée (exemple de l'azote).....	p. 22
3.2.3. Le cadre réglementaire	p. 23

PARTIE 2 ⇒ *Mise en place de l'étude des surplus azotés*..... p. 26

1. Le bassin Loire-Bretagne : un vaste réseau.....	p. 27
1.1. Principales caractéristiques physiques du bassin de la Loire-Bretagne	p. 28
1.2. Caractéristiques économiques et contraintes environnementales	p. 28
1.3. Le SDAGE : politique de gestion de la ressource.....	p. 29
1.4. La qualité des eaux : cas particulier des nitrates	p. 29
1.4.1. Le contexte	p. 29
1.4.2. Les nitrates : situation actuelle	p. 30

2. La recherche d'informations	p. 31
2.1. Les pratiques liées à la fertilisation azotée.....	p. 31
2.1.1. Démarche engagée.....	p. 31
2.1.2. Bilan prévisionnel de fertilisation azotée.....	p. 32
2.1.3. Que déduire du bilan prévisionnel.....	p. 33
2.2. Les ventes en fertilisants minéraux	p. 33
2.3. Productions animales et productions végétales	p. 34
2.3.1. Effectifs des animaux d'élevages	p. 34
2.3.2. Les superficies agricoles	p. 34
3. Choix de la méthode et définition de la zone d'étude	p. 35
3.1. Méthodologie du bilan azoté pour l'évaluation des surplus.....	p. 35
3.1.1. Les approches possibles.....	p. 35
3.1.2. Le bilan azoté à la surface des sols agricoles.....	p. 36
3.1.3. Simplification du bilan	p. 37
3.2. Présentation des bassins versants retenus pour l'étude.....	p. 39
3.2.1. Le bassin versant de la Vaudelle (station VAU2)	p. 39
3.2.2. Le bassin versant de l'Erve (station ERV1)	p. 40
3.2.3. Le bassin versant de la Taude (station TAD1).....	p. 41
 <i>PARTIE 3 ⇒ Estimation des surplus azotés dans les bassins versants de la Vaudelle, de l'Erve et de la Taude</i>	
<hr/>	
1. Evaluation des flux d'azote	p. 43
1.1. Les données nécessaires au calcul des flux.....	p. 43
1.1.1. Les débits.....	p. 44
1.1.2. Les concentrations	p. 44
1.2. Les résultats	p. 44
1.2.1. Présentation des calculs et des résultats.....	p. 44
1.2.2. Interprétation des résultats	p. 45
2. Estimation des surplus azotés	p. 46
2.1. Définition du "surplus".....	p. 47
2.2. Présentation des données.....	p. 47
2.2.1. Productions animales et végétales	p. 48
2.2.2. Les coefficients de rejet.....	p. 48
2.2.3. Les besoins des cultures en azote.....	p. 49
2.2.4. Les apports en engrais minéraux	p. 49
2.2.5. Démarche suivie pour la mise en œuvre des calculs	p. 49
2.3. Calculs et résultats	p. 50
2.3. Interprétation des surplus	p. 51
2.4. Responsabilité des activités agricoles dans les flux d'azote observés	p. 52
2.4.1. Flux et concentrations.....	p. 52
2.4.2. Le parallèle entre flux et surplus	p. 53
2.5. La méthode du bilan : discussion et perspectives.....	p. 55
2.5.1. Pallier les faiblesses du calcul du bilan azoté	p. 55
2.5.2. Estimer le transfert du sol vers les eaux	p. 55
CONCLUSION	p. 57
BIBLIOGRAPHIE.....	p. 59
SOMMAIRE DES ANNEXES.....	p. 61

INTRODUCTION

Depuis de nombreuses années la dégradation de la qualité des eaux est un phénomène préoccupant. Les principales substances mises en cause sont notamment le phosphore, l'azote et les produits phytosanitaires. Or, l'agriculture est un grand consommateur de ces produits. Elle apparaît donc comme le principal responsable.

Face à cette situation, les pouvoirs publics ont pour rôle de définir les conditions de la restauration de l'état des milieux aquatiques. Les enjeux en sont importants : approvisionnement de la population en eau potable, préservation du potentiel économique et ludique des milieux aquatiques. La directive "nitrates" créée en 1991 constitue le principal outils législatif de la lutte contre les pollutions provoquées ou induites par les activités agricoles. Depuis 2000, une contrainte supplémentaire s'impose à la France, à savoir le respect de la directive cadre sur l'eau qui définit une procédure ayant pour objectif d'atteindre, en 2015, un bon état de toutes les eaux.

Pour satisfaire ces objectifs, il est important d'évaluer les pressions que font peser les activités agricoles sur l'environnement afin de mettre en relation ces pressions avec l'état des milieux aquatiques. Actuellement, en France, les problèmes posés par les nitrates constituent l'essentiel du débat. De ce fait, certains organismes comme l'Ifen travaille sur la mise en œuvre d'un outils permettant d'évaluer les pressions liées à l'azote.

Sur cette base, nous avons cherché à mettre en place une étude qui consiste à analyser les grands principes de la fertilisation, dans le but de pouvoir quantifier et évaluer l'influence des surplus azotés sur les milieux aquatiques de trois bassins versants de la Loire.

Dans un premier temps, je m'attacherai à décrire le contexte actuel de la fertilisation dans le cadre de l'agriculture. Ensuite, je présenterai les démarches qui ont permis la mise en place de l'étude des surplus azotés. Enfin, je réaliserai la synthèse et l'interprétation de l'étude menée sur trois bassins versants de la Mayenne.

PARTIE 1

L'agriculture et la fertilisation

La fertilité du sol dépend directement de la présence des différents minéraux qui sont les éléments nutritifs de la plante. Ils doivent être présents en réserves suffisantes pour la croissance de la plante et sous forme assimilable (UNIFA, 1991). La fertilisation est indispensable pour suppléer aux insuffisances du sol en sels minéraux nécessaires à la nutrition des cultures. Les apports par les engrais permettent de pallier aux carences alimentaires des plantes en apportant les éléments nutritifs essentiels. Toutefois, l'intensification de l'agriculture française depuis un demi-siècle fait peser une menace sérieuse sur la qualité des eaux. De nombreux intérêts sont en jeu parmi lesquels, en tout premier lieu, l'approvisionnement de la population en eau potable et la préservation des milieux naturels. Différentes réglementations ou procédures visent à protéger cette ressource en définissant des objectifs, en termes d'actions ou de résultats, à atteindre par les différents "acteurs de l'eau". Ces mesures visent notamment à limiter l'utilisation des engrais azotés et phosphorés afin de maîtriser leur transfert vers les milieux aquatiques.

1. Intérêt des fertilisants dans l'agriculture actuelle

1.1. La nutrition des plantes

Pour se développer, les plantes prélèvent dans leur environnement les éléments nécessaires à la constitution de leurs tissus. Aux côtés des oligo-éléments (fer, zinc, cuivre, manganèse, cuivre et molybdène) présents en très faibles quantités, les principaux constituants de base des plantes sont neuf éléments dits "plastiques" qui représentent 99 % de la masse d'un végétal (cf. Tableau 1).

Eléments plastiques	Carbone (C)	Oxygène (O)	Hydrogène (H)	Azote (N)	Phosphore (P)	Soufre (S)	Potassium (K)	Calcium (Ca)	Magnésium (Mg)
Composition	42%	44%	6%	2%	0,40%	0,40%	2,50%	1,30%	0,40%

Tableau 1 : Composition moyenne du végétal en % de la matière sèche

Au cours de la photosynthèse, la plante utilise du carbone et de l'oxygène fournis par le gaz carbonique (CO_2) de l'air. L'eau prélevée dans le sol, outre ses rôles multiples dans la physiologie végétale, apporte hydrogène et oxygène. Les éléments tels que l'azote, le phosphore et le potassium sont quant à eux prélevés dans le sol en totalité sous forme minérale.

Les plantes prélèvent dans l'air, l'eau et le sol, les matières nutritives nécessaires à la constitution de leurs tissus. Les cultures utilisent les éléments minéraux naturellement présents pour leur croissance et exportent hors des champs ces substances lors des récoltes. Ainsi, les éléments prélevés par les cultures doivent être remplacés pour ne pas appauvrir le sol et lui permettre d'assurer la nutrition des prochaines plantations. On considère que pour chaque plante il correspond un équilibre bien particulier qui dépend du sol, du climat et de son stade de croissance (UNIFA, 1991). L'agriculteur doit donc maintenir le niveau de fertilité du sol en prenant en compte les prélèvements faits par les récoltes et les besoins des cultures en élément fertilisant.

1.2. Les grandes catégories de fertilisant

Les matières fertilisantes sont des produits destinés à assurer la nutrition des végétaux ou à améliorer les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Ces éléments peuvent être de deux types, les engrais et les amendements.

1.2.1. Les engrais

Les engrais sont classés en trois catégories. On distingue les fertilisants organiques, minéraux et organo-minéraux :

⇒ Les fertilisants organiques sont généralement d'origine animale ou végétale. Les premiers sont typiquement des déchets industriels tels que les déchets d'abattoirs (sang desséché, corne torréfiée, déchets de poissons, boues d'épuration des eaux). Ils sont intéressants par leur apport d'azote à décomposition relativement lente, et par leur action sur la multiplication rapide de la vie microbienne du sol, mais n'enrichissent guère le sol en humus stable. Les seconds peuvent être des déchets végétaux (résidus

verts) ou des plantes cultivées spécialement comme engrais vert (purin d'ortie, algues). Ce sont aussi des sous-produits de l'élevage, tels que les fumiers, les lisiers et les fientes.

⇒ Les fertilisants minéraux sont des produits dont la fonction majeure est d'apporter aux plantes des éléments nutritifs (éléments majeurs, éléments secondaires et oligo-éléments). Les fertilisants minéraux sont des substances contenant un (engrais simple) ou plusieurs (engrais composés) éléments nutritifs majeurs (azote, phosphore, potassium) sous une forme inorganique.

⇒ Les fertilisants organo-minéraux contiennent à la fois des matières organiques d'origine végétale et/ou animale et des matières fertilisantes minérales. Ils doivent contenir au minimum 1 % d'azote d'origine organique.

1.2.2. Les amendements

L'amendement est l'apport d'un produit fertilisant destiné à améliorer la qualité des sols (en terme de structure et d'acidité). Il peut s'agir soit d'amendements basiques, qui agissent sur les qualités physiques et chimiques des sols (par exemple sur le pH) en établissant un milieu plus propice au développement d'une culture, soit d'amendements organiques, qui agissent également sur la vie microbienne du sol. Les amendements contiennent aussi des quantités non négligeables d'éléments nutritifs et sont parfois assimilés à des engrais.

1.3. Objectif de la fertilisation

La fertilisation est indispensable pour suppléer aux insuffisances du sol en sels minéraux nécessaires à la nutrition des cultures. Les apports par les engrais organiques et minéraux permettent notamment de :

⇒ Compenser les défauts du sol, en complétant les éléments en quantité insuffisante qui constituent des facteurs limitant du rendement.

⇒ Apporter les éléments nécessaires à la croissance et au développement optimal des plantes.

⇒ Compenser les exportations d'éléments fertilisants occasionnés par les récoltes, pour maintenir le niveau de fertilité du sol.

L'objectif principal de la fertilisation est donc d'obtenir le meilleur rendement possible compte tenu des autres facteurs qui y concourent (qualité du sol, climat, apports en eau, potentiel génétique des cultures, moyens d'exploitation), ainsi que la meilleure qualité, et ce, au moindre coût (UNIFA, 1991).

2. La fertilisation azotée et phosphorée

2.1. Origine de l'azote absorbé par les plantes

Les deux principales sources d'azote à la disposition des cultures sont les fournitures d'azote par le sol et les apports par les engrais de synthèse et les déjections animales.

2.1.1. Le rôle de l'azote

L'azote entre au premier rang des éléments fertilisants dans la composition des végétaux car c'est un facteur déterminant de toute fabrication de matière vivante (végétale et animale). Chez les végétaux, seules les légumineuses sont capables de fixer l'azote atmosphérique grâce à des bactéries situées dans des nodosités racinaires. Pour toutes les autres plantes, la nutrition azotée se fait quasi exclusivement à partir des formes minérales présentes dans la solution du sol. L'importance de l'azote en tant que facteur de production végétal tient du fait que de nombreuses molécules sont composées de cet élément :

⇒ Toutes les protéines sont constituées par une chaîne d'acides aminés (la fonction amine est NH_2). Elles jouent un rôle de réserve nutritive et peuvent être utilisées comme substrat respiratoire.

⇒ Les enzymes qui interviennent dans les réactions du métabolisme se lient aux substrats par leur partie protéique.

⇒ Les acides nucléiques responsable de la synthèse des protéines contiennent des bases azotées.

⇒ L'azote possède un rôle important dans la photosynthèse car c'est un composant essentiel de la chlorophylle.

2.1.2. Le cycle de l'azote

Afin de bien comprendre le mécanisme d'évolution de l'azote dans le sol, un schéma simplifié du cycle de l'azote est présenté à la figure 1. Il montre les diverses transformations que subit cet élément dans la biosphère.

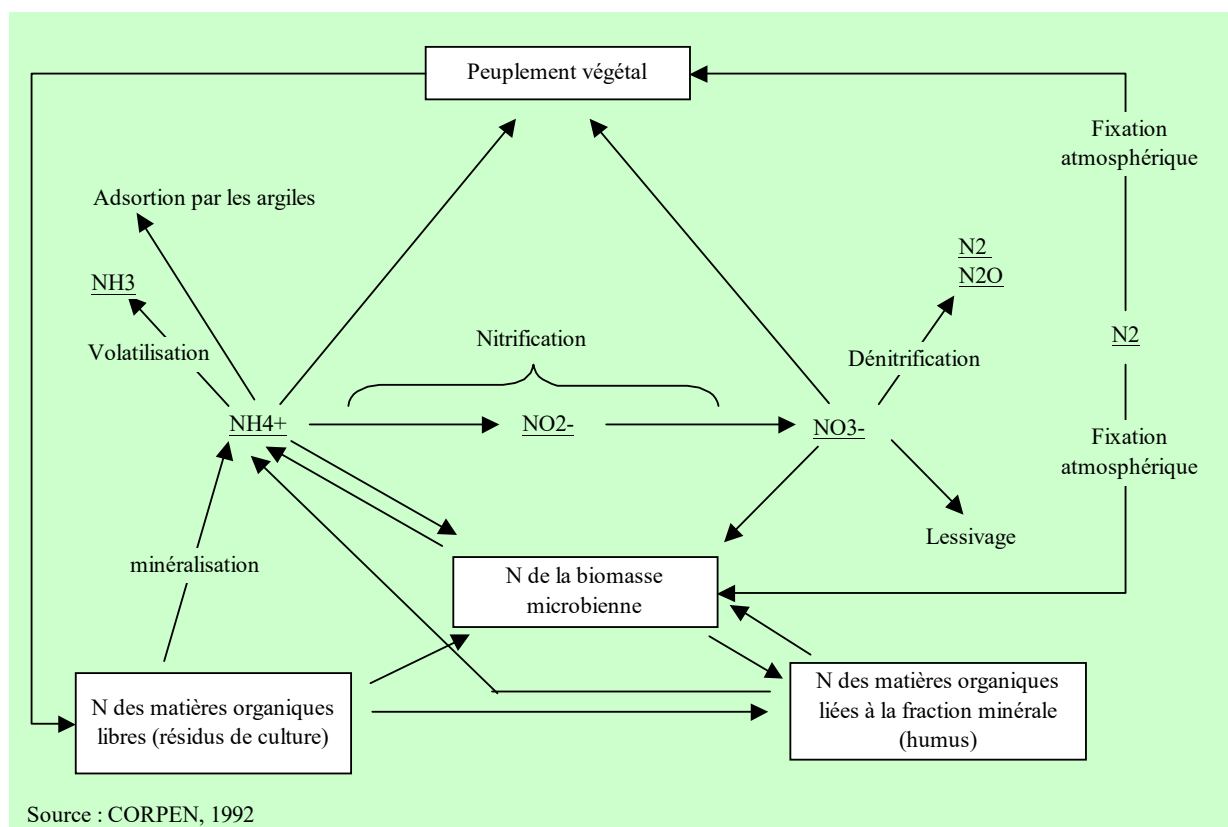


Figure 1 : Cycle de l'azote

2.1.3. Les fournitures d'azote par le sol

Le sol contient environ 3 à 10 tonnes d'azote par hectare (ha), dont 95 à 97 % se trouvent sous forme organique (CORPEN,1992). Or, d'une manière générale, on considère que seul l'azote sous forme minérale est assimilable par les peuplements végétaux. La minéralisation de ce stock de matière organique peut varier de 1 à 2 % par an, d'où une production de 30 à 200 kg d'azote minérale par an (et par ha) en fonction du type de sol et des conditions du milieu.

2.1.4. Les fournitures d'azote par les engrais de ferme

Dans les déjections animales, on distingue trois fractions d'azote qui sont libérées sous forme utilisable par la plante à plus ou moins brève échéance :

- ❑ l'azote minérale,
- ❑ l'azote organique qui minéralisera dans l'année,
- ❑ l'azote organique qui minéralisera les années suivantes.

La figure 2 illustre la répartition de ces 3 fractions d'azote dans quelques engrais de ferme. L'azote organique représente 30 à 90 % du total selon le type de déjection. L'importance respective de ces différentes fractions va conditionner en grande partie l'efficacité azotée de l'engrais de ferme et surtout la répartition dans le temps des libérations d'azote.

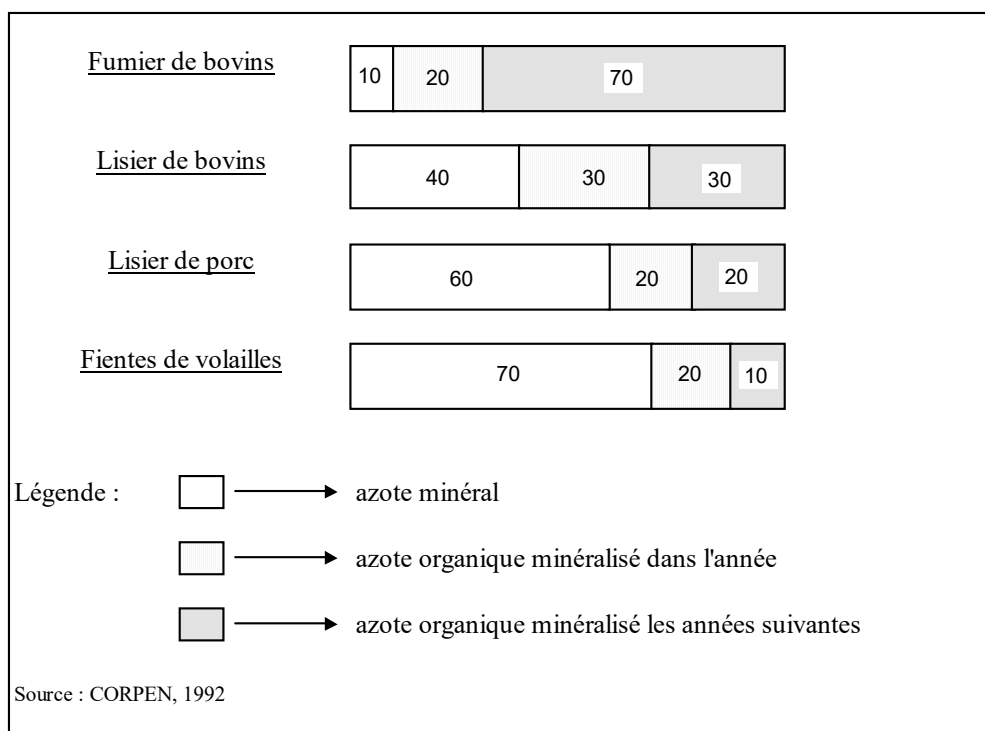


Figure 2 : Ordre de grandeur des fractions d'azote dans quelques engrais de ferme

Ainsi, la fertilisation par les engrais de ferme est caractérisée par deux types de fourniture d'azote :

⇒ Les fournitures d'azote par effet direct. Elles sont constituées par l'azote ammoniacal et l'azote organique rapidement minéralisable. Cet azote sera

disponible pour la culture au moment de sa libération, comme un engrais minéral. L'importance de cet effet direct dépend de la composition du produit épandu.

⇒ Les fournitures d'azote par arrière-effet. Elles correspondent à la partie de l'azote qui ne sera pas libérée la première année mais stockée sous forme d'humus dans le sol. Les années suivantes, cet humus minéralisera en libérant une partie de l'azote qu'il contient. Si la parcelle reçoit des apports réguliers d'engrais de ferme depuis longtemps, la fraction d'azote libérée chaque année par minéralisation de l'humus sera équivalente à celle stockée en moyenne tous les ans.

2.1.5. Les fournitures d'azote par les engrais de synthèse

L'azote apporté par les engrais de synthèse est fonction des produits utilisés, il peut être sous forme de nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) ou d'urée $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.

L'absorption de l'azote par les plantes dans le sol se fait en quasi-totalité sous forme de nitrates. Or, la nitrification est un phénomène relativement rapide puisque la production d'azote sous forme NO_3 est de l'ordre de 1,5 à 5 Kg/ha/jour. Par conséquent, excepté en sols présentant des conditions défavorables (sols hydromorphes, très acides ou à état structural très dégradé), l'apport d'azote peut être fait sous forme nitrique ou ammoniacale. Dans les cas extrêmes présentant des risques de mauvais fonctionnement de la nitrification, des apports sous forme uréique ou ammoniacale risquent d'être peu utilisables par les plantes et provoquer une intoxication par l'accumulation d'ammoniaque.

2.2. Les besoins de la plante en phosphore

La teneur des tissus végétaux en phosphore est comprise entre 0,1 et 0,5 %, soit près du dixième de la teneur en azote (1 à 6 %). Néanmoins, le phosphore tient un rôle très important dans la nutrition des plantes car cet élément intervient dans de nombreuses réactions du métabolisme. En effet, il entre dans la composition des membranes, de l'adénosine triphosphate (ATP) et des acides nucléiques (éléments de base de l'ADN).

2.2.1. Le cycle du phosphore

La figure 3 présente de façon simplifiée le cycle du phosphore dans le cadre de l'agriculture. Il permet notamment d'illustrer les principaux phénomènes qui régissent ce cycle, mais aussi de mettre en évidence les diverses formes que peut prendre le phosphore dans le sol.

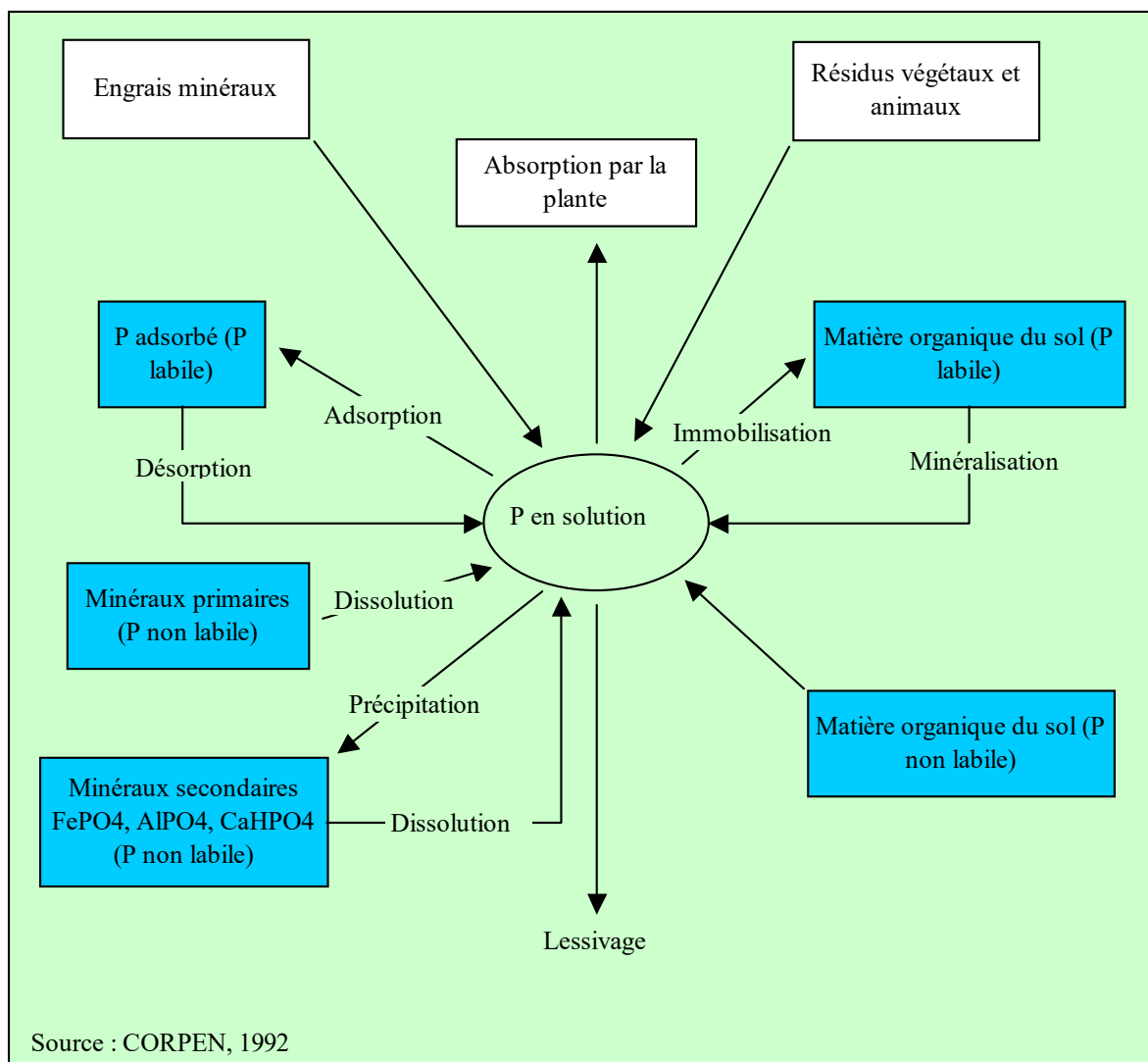


Figure 3 : Cycle du phosphore

Le phosphore peut être assimilé par les plantes soit directement, lorsqu'il est dissous dans la solution du sol (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-), ou après l'action d'enzymes produites par les plantes. Le phosphore est majoritairement présent dans les sols sous forme particulaire. Ces particules sont immobiles lorsqu'elles sont fixées sur des

structures argileuses. Le phosphore adsorbé à la phase solide du sol peut être mobilisé par la solution du sol. Contrairement à l'azote, il n'y a pas de volatilisation ni dégradation du phosphore dans le sol. En conséquence, il n'y a donc pas de réel cycle du phosphore mais des phénomènes de stockage temporaire et de mobilisation.

2.2.2. Devenir des différents apports de phosphore dans le sol

La quantité de phosphore présente dans un sol est une conséquence directe de la caractéristique de la roche mère. Toutefois, la connaissance de cette quantité n'apporte pas d'informations objectives sur l'aptitude du sol à fournir du phosphore aux végétaux et à satisfaire leurs exigences. En effet, l'indicateur principal de l'alimentation des végétaux est la quantité nécessaire au maintien de la concentration de la solution du sol en phosphore.

Les prélèvements de P_2O_5 (phosphates) par les plantes entraînent un épuisement des formes solubles. Ainsi, cet élément qui est sollicité pour reconstituer le stock de P_2O_5 dissous est de moins en moins mobile, car il est d'avantage retenu par le pouvoir fixateur du sol. Le maintien d'un niveau adéquat de phosphore dans la solution du sol dépend de la quantité de phosphore labile qui remplace le phosphore de la solution du sol prélevé par la plante. Le phosphore labile (phosphore qui devient facilement disponible pour la plante) est plus difficile à prédire que pour les autres éléments nutritifs à cause de la chimie complexe de l'élément P dans le sol. En effet, il existe un échange dynamique permanent entre les états du phosphore dans le sol :

Solution du sol \Leftrightarrow Phosphore labile \Leftrightarrow Phosphore non-labile

Environ 50 % du phosphore total dans les sols est sous forme organique, mais il peut varier de 15 à 80 % suivant la nature du sol. Généralement, cette fraction augmente avec l'incorporation de plus de matière organique dans le sol. Le phosphore organique est l'objet d'une lente minéralisation qui le rend progressivement disponible pour les végétaux. Les engrais phosphatés sont classés selon leur solubilité. Les plus solubles permettent de réapprovisionner très rapidement la solution du sol en phosphore labile. A l'inverse, les formes les moins solubles, provenant des phosphates naturels, ne participent que faiblement à l'entretien de la solution du sol. Cependant, le

phosphore apporté sous forme d'engrais est plus sujet à la fixation (par les argiles, les matières organiques et autres éléments minéraux) que le phosphore libéré par les sources organiques parce que celles-ci ont tendance à libérer le phosphore en petites quantités et plus progressivement.

Des marées vertes de Bretagne à la contamination des nappes souterraines, la dégradation de la qualité des eaux depuis plusieurs années est un phénomène préoccupant. Trois substances principales sont en cause : le phosphore, les nitrates et les produits phytosanitaires. Or l'agriculture est un grand consommateur de ces trois produits. Elle apparaît donc comme le principal responsable de ces pollutions. Il semble toutefois que la pratique d'une agriculture raisonnée adaptée aux conditions d'environnement local peut permettre de lutter contre la dégradation des ressources naturelles.

3. La fertilisation raisonnée : un sujet d'actualité

Face à la dégradation de la qualité des eaux, les pouvoirs publics ont pour rôle de définir les conditions de la restauration de l'état des milieux aquatiques. Les enjeux en sont importants : approvisionnement de la population en eau potable, maintien du potentiel économique et ludique des milieux aquatiques.

3.1. La contamination des eaux par les engrais

3.1.1. Responsabilité des engrais azotés et phosphatés

Les engrais phosphatés ne sont pas les principaux responsables de la contamination des eaux par les phosphates. Si une partie des phosphates trouvés dans les eaux superficielles peut provenir de la fertilisation agricole, les engrais phosphatés ne sont pas affectés par le lessivage (fixation des phosphates au complexe argilo-humique) et ne peuvent donc pas, en général, entraîner des phénomènes de pollution des eaux souterraines. D'après des études réalisées en 1992 par l'Agence de l'eau Loire-

Bretagne, l'origine des phosphates rejetés dans le milieu aquatique en France se répartirait de la façon suivante :

- ❑ Eaux domestiques (lessives et détergents) : 50 %
- ❑ Eaux industrielles : 28 %
- ❑ Elevages : 17,5 %
- ❑ Cultures : 4,5 %

Les engrais azotés et plus particulièrement les nitrates constituent l'essentiel du problème car ils sont fortement sujets aux pollutions diffuses. Les nitrates, très solubles dans l'eau, ne sont pas retenus par le pouvoir adsorbant du sol. Leur lessivage est un phénomène naturel consistant en leur entraînement par l'eau infiltrée, qui est fonction de la quantité tombée (pluie ou irrigation) et du type de sol (capacité de rétention en eau). Les préoccupations principales ne résident pas tant dans les taux exceptionnels observés çà et là après des accidents climatiques, mais plutôt dans l'augmentation quasi générale, lente et progressive, du taux moyen de nitrates dans les eaux souterraines, les eaux superficielles, continentales ou littorales. La part respective de l'agriculture dans la contamination des eaux par les nitrates n'est pas connue avec exactitude, mais certaines études menées par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne permettent d'affirmer que celle-ci est voisine des 50 %.

3.1.2. Les principales préoccupations

➤ L'eau potable, un aliment très surveillé

Une eau est considérée comme potable si son ingestion ne présente aucun risque pour la santé. Plus de soixante normes concernant l'eau potable sont visées dans les lois et leurs textes d'application, en faisant la denrée alimentaire la plus réglementée. La norme de 50 mg/litre de nitrates à ne pas dépasser pour que l'eau soit considérée comme potable, a été déterminée à partir de la dose journalière admissible (DJA) pour l'homme, fixée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). L'application de cette norme a pour but la protection du consommateur. En effet, les nitrites (dérivés des nitrates) peuvent être à l'origine d'une maladie infantile appelée méthémoglobinémie, alors que les nitrosamines (dérivés des nitrates) seraient susceptibles d'augmenter l'occurrence de certains cancer. Néanmoins, les nitrates en

provenance de l'eau ne représenteraient que 30 % de la quantité totale ingérée, le reste venant surtout des légumes, mais aussi des viandes et des fruits.

➤ L'eutrophisation des cours d'eau

L'eutrophisation des eaux superficielles est due à un enrichissement en éléments nutritifs N, P, S, K, qui entraîne une croissance rapide de plantes aquatiques et d'algues. A leur mort, celles-ci empêchent l'eau de s'oxygéner normalement, d'où une modification de la flore et de la faune, pouvant aller jusqu'à la mortalité des poissons. Les éléments que sont l'azote et le phosphore jouent le rôle de facteur limitant pour le déclenchement du phénomène d'eutrophisation.

Ainsi, pour lutter contre la pollution d'origine agricole, il est nécessaire de prendre le problème dans son ensemble, en préconisant :

- ❑ un aménagement rationnel,
- ❑ une gestion des sols,
- ❑ des pratiques d'élevage efficaces,
- ❑ une production végétale performante.

3.2. Les moyens d'action

3.2.1. Le code des bonnes pratiques agricoles

Le CORPEN (Comité d'orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates provenant des activités agricoles) a publié, en juin 1993, la 2^{ème} édition de sa brochure "Amélioration des pratiques agricoles pour réduire les pertes de nitrates vers les eaux". Ce travail faisait suite aux propositions du CORPEN pour le code des bonnes pratiques agricoles élaboré en application de la directive européenne du 12 décembre 1991. Les principales orientations exposées par le code des bonnes pratiques agricoles sont les suivantes :

➤ Identification des risques de fuites

Ces risques sont liés à la nature du sol, aux caractéristiques du climat ainsi qu'aux successions culturales.

➤ Les bonnes pratiques liées à l'épandage

Afin de maîtriser l'épandage des engrais azotés et ainsi éviter dans la mesure du possible le lessivage de ces substances, certaines préconisations doivent être respectées :

- ❑ éviter les épandages d'azote en automne et en hiver, sauf si la culture en place est capable de les utiliser,
- ❑ éviter d'épandre l'azote sur sols fortement gelés ou enneigés,
- ❑ bien raisonner la fertilisation azotée des sols drainés, plus aptes au lessivage,
- ❑ éviter de vouloir rattraper des erreurs de conduite culturale par des apports inconsidérés d'azote.

➤ Les bonnes pratiques de gestion des terres

La fertilisation azotée n'est pas seule en cause. De mauvaises pratiques agricoles peuvent augmenter le "risque nitrates". Il est donc nécessaire de prendre en considérations :

- Les techniques du travail du sol : l'amélioration de la structure du sol (ou plutôt la non dégradation) facilite l'enracinement, ce qui suppose de n'intervenir qu'en bonnes conditions (sols portants, ressuyés) et avec un matériel adapté à la nature du sol.
- Les problèmes de l'interculture : les résidus de récolte devront être gérés de façon à optimiser leur minéralisation sans augmenter le risque de lessivage.
- L'irrigation : bien conduite, elle permet d'obtenir une augmentation du prélèvement de nitrates par les cultures.

➤ La gestion des effluents d'élevage

Elle comporte deux aspects :

- La collecte et le stockage, avec le souci d'éviter des pertes ponctuelles et d'améliorer la qualité des produits.
- La valorisation économique de ces effluents d'élevage. Des méthodes d'analyses rapides existent qui permettent d'en connaître la composition, notamment pour l'azote, et aussi de calculer les quantités d'éléments fertilisants épandues.

3.2.2. La fertilisation raisonnée (exemple de l'azote)

En une période où les aspects économiques, mais aussi écologiques, sont plus que jamais essentiels, il est nécessaire de bien raisonner la fertilisation et de l'appliquer au mieux en fonction des divers situations. Le fondement de la fertilisation raisonnée repose sur l'idée simple que la couverture des besoins azotés d'une culture doit être satisfaite par l'apport d'engrais ou de déjections animales en complément de l'offre du sol qui doit donc être estimée correctement. Ainsi, le principe du bilan doit servir de base au raisonnement de la fumure azotée.

La maîtrise de la fertilisation azotée est un procédé délicat puisque la dose à fournir dépend du rendement final qui, lié au climat, est difficile à prévoir. Ensuite, parce que sa mise en œuvre doit s'adapter aux conditions particulières du milieu, au type de culture et aux techniques agricoles utilisées. De ce fait, pour déterminer la dose optimale à épandre, l'agriculteur doit :

⇒ Evaluer le rendement auquel il peut raisonnablement prétendre, et donc les besoins en azote de la culture.

⇒ Calculer la quantité d'azote fournie par le sol. Elle correspond à la part d'azote minéral présente au départ de la culture (valeur qui dépend des pluies tombées et des phénomènes de lessivage) et à l'azote provenant de la minéralisation d'une partie de la matière organique au cours de la période de végétation.

La détermination des fournitures d'azote par le sol constitue, avec la fixation du rendement potentiel, la deuxième grande difficulté du raisonnement de la fumure azotée.

Le principe général du bilan peut être représenté par une balance (cf. figure 4 page ci-contre) avec, dans le plateau de gauche, les besoins en azote de la culture et, dans celui de droite, les différentes fournitures (sol, déjections animales, engrais). Si ces fournitures sont faibles et inférieures aux besoins de la culture, le rendement, donc la marge brute de celle-ci (cadran du haut) est faible (aiguille vers la gauche). Au fur et à mesure que les fournitures d'azote augmentent, l'aiguille se déplace de la gauche vers la droite, et passe par un optimum économique correspondant à l'équilibre entre les besoins en azote de la culture (calculé pour un rendement potentiel de la culture) et les

fournitures. A ce moment, on a la marge brute optimale. Puis, si les fournitures sont supérieures à ce besoin, l'aiguille va pencher vers la droite et la marge brute va diminuer. En effet, un apport excessif d'azote est inutile à la culture, et il entraîne par la même occasion un gaspillage des réserves en fertilisants ainsi que des pertes par lessivage.

Des expérimentations menées sur différentes cultures, démontrent que la dose d'engrais azoté correspondant au meilleur rendement économique représente également le meilleur ratio "récoltes/pertes de nitrates". Au-dessus de cette dose, des pertes considérables de nitrates sont constatées. En-dessous de cette dose, il y a des baisses importantes de rendement sans réduction significative des pertes de nitrates (UNIFA, 1991).

3.2.3. Le cadre réglementaire

↳ Réglementation relative aux engrais

La commercialisation des engrais est régie par la loi du 13 juillet 1979 relative à l'organisation du contrôle des matières fertilisantes et des supports de culture. Cette loi établit un système de contrôle et impose comme règle générale l'homologation des produits mis sur le marché. Cependant, les produits qui entrent dans des normes françaises rendues d'application obligatoire ou qui sont couverts par les directives de l'Union Européenne, sont commercialisés en se référant à ces normes ou directives. Le domaine d'application de la loi comprend :

- ❑ les engrais contenant des éléments fertilisants majeurs (N, P, K) et/ou secondaires (S, Ca, Mg, Na) et/ou des oligo-éléments (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Co),
- ❑ les amendements,
- ❑ les matières fertilisantes mixtes contenant des amendements et des engrais,
- ❑ les supports de culture, d'une façon générale, tous les produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols.

L'homologation (ou autorisation provisoire de vente) des produits, ainsi que les normes françaises, permettent la mise sur le marché d'engrais sur le territoire français. La réglementation des engrais sur le territoire de l'Union Européenne (engrais CEE) passe par les directives. Les principales directives sont essentiellement les textes du 18 décembre 1975 (76/116/CEE) et du 15 juillet 1980 (80/876/CEE) relatifs aux engrais, complétés par des dispositions concernant les éléments secondaires (89/284/CEE), les oligo-éléments (89/530/CEE), et des engrais divers ou spéciaux (93/69/CEE).

☞ *Réglementation relative à l'eau*

Un certain nombre de textes législatifs et réglementaires, relatifs à l'eau, ont été adoptés tant au niveau européen que français. C'est la directive européenne 91/676/CEE du 12 décembre 1991 dite "Directive Nitrates" qui 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 agroalimentaires, boues, ...) et toutes les eaux quels que soient leurs origines et leurs usages.

En France, les principaux textes qui légifèrent la fertilisation font suite à la "Directive Nitrates". Voici les principaux d'entre eux :

- ❑ Décret n° 2001-34 du 10 janvier 2001 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole (cf. Annexe 1).
- ❑ Arrêté du 7 mars 2002 relatif au projet d'amélioration des pratiques agronomiques (cf. Annexe 2).
- ❑ Arrêté du 22 novembre 1993 relatif au Code des bonnes pratiques agricoles (cf. Annexe 3).

Depuis 2000, une contrainte supplémentaire s'impose à la France, à savoir le respect de la directive cadre sur l'eau qui définit une procédure ayant pour objectif d'atteindre, en 2015, un bon état de toutes les eaux.

Il est utile de rappeler le poids des exigences réglementaires liées à la préservation de la ressource en eau. Le respect de ces réglementations par l'ensemble des "acteurs de l'eau" requiert une connaissance précise des mécanismes de pollution et impose une coordination forte des actions à mettre en œuvre. Pour appuyer cette démarche il est important de mettre en relation le suivi de l'état des ressources naturelles avec la représentation de l'impact des pressions agricoles sur les milieux aquatiques.

PARTIE 2

*Mise en place de l'étude des
surplus azotés*

L'agriculture moderne, notamment par l'utilisation des engrais azotés et phosphatés contribue à la pollution diffuse des cours d'eau. L'élaboration d'une politique de réduction de cette pollution doit s'appuyer sur un diagnostic solide des causes. Il est donc nécessaire d'identifier les pressions qu'exerce l'agriculture sur l'environnement et de mettre en relation ces pressions avec l'état des milieux aquatiques. Sur cette base, il paraît intéressant d'envisager une étude permettant d'estimer les surplus d'engrais sur une aire géographique donnée, afin de les comparer aux flux mesurés à l'exutoire localisé en sortie de cette aire.

Cette partie s'intéresse à exposer les principales composantes qui interviennent dans la mise en place de l'étude des surplus azotés. Les différentes parties qui seront traitées concernent :

- ❖ La présentation du bassin Loire-Bretagne qui constitue le siège de l'étude.
- ❖ Les démarches engagées afin de recueillir les informations nécessaires à la mise en place de l'étude des surplus azotés.
- ❖ La méthodologie de calcul retenue pour l'estimation des surplus.
- ❖ La présentation des bassins versants qui feront l'objet de l'étude.

1. Le bassin Loire-Bretagne : un vaste réseau

Le bassin Loire-Bretagne couvre l'ensemble des bassins versants de la Loire et de ses affluents, les bassins côtiers bretons et la Vilaine, ainsi que les bassins côtiers vendéens. En ce qui concerne sa géographie administrative, il s'étend en totalité ou partiellement sur 10 régions et 31 départements. Le bassin Loire-Bretagne concerne 7 283 communes (20 villes de plus de 50 000 habitants, et plus de 6 000 communes de moins de 1 000 habitants) et 11,5 millions d'habitants. Au total, il représente une superficie de 155 000 km² (dont 117 000 km² pour le bassin de la Loire) soit 28 % du territoire national. Les figures 5 et 6 page situées page ci-contre présentent la Loire et ses affluents ainsi que la délimitation géographique du bassin versant Loire-bretagne.

1.1. Principales caractéristiques physiques du bassin Loire-Bretagne

La Loire est le plus grand fleuve de France avec un cours de plus de 1 000 km caractérisé par une hydrologie “capricieuse” qui se traduit par des régimes hydrologiques très contrastés. Par ailleurs, le bassin Loire-Bretagne est représenté par une forte diversité géographique puisqu’il intègre 2 000 km de côtes soit 40 % de la façade maritime du pays, de types morphologiques variés (côtes rocheuses et baies ouvertes à fort renouvellement d’eau, côtes fermées avec développement de baies à faibles courants, lagunes et étangs maritimes) et deux massifs montagneux anciens aux deux extrémités (massif armoricain et massif central).

1.2. Caractéristiques économiques et contraintes environnementales

Le bassin Loire-Bretagne est un territoire à l’emprunte rurale marquée car la densité moyenne est de 75 habitants par kilomètre carré. Dans le domaine agricole, il concentre les deux tiers de l’élevage français (50 % dans les seuls départements bretons) et la moitié des productions céréalières nationales, avec principalement les régions du Centre et du Poitou-Charente. Ainsi, il constitue un enjeu majeur pour la qualité de l’eau, notamment pour la Bretagne qui est fortement sujette aux diverses pressions agricoles. D’autre part, l’activité industrielle reflète cette caractéristique agricole, avec une production agroalimentaire dominante dans l’ouest et le centre du bassin.

Cependant, le bassin Loire-Bretagne est un espace naturel remarquable, qui constitue un lieu de détente et de tourisme par le biais des diverses activités qui peuvent y être exercées. Avec ses 2 000 km de façade littorale, c’est aussi une région de pêche, de conchyliculture (50 % de l’activité du secteur), et bien sûr de tourisme avec des usages sensibles à préserver comme par exemple la baignade ou la pêche à pied. Il faut aussi garder à l’esprit que la Loire a conservé de nombreux caractères de “fonctionnement naturel” que les autres fleuves de France ou d’Europe occidentale ont perdus au cours des dernières décennies. Ainsi, la Loire possède encore un certain espace de liberté morphologique, sédimentaire et écologique qui génère une grande variété de biotopes à l’origine d’une richesse biologique élevée. Ainsi, la préservation de ce patrimoine commun concerne aussi bien l’état que les citoyens.

1.3. Le SDAGE : politique de gestion de la ressource

Le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) a été institué par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. Élaboré puis adopté par le Comité de Bassin Loire-Bretagne, il est entré en application fin 1996 par un arrêté du préfet coordonnateur de bassin. Il fixe les orientations fondamentales pour une gestion équilibrée de l'eau dans le bassin Loire-Bretagne pour les dix ou quinze prochaines années.

La solution proposée par la loi pour organiser la gestion équilibrée de l'eau et des milieux aquatiques, repose sur l'organisation d'une concertation en vue d'établir une planification des usages de l'eau. A un premier niveau, le SDAGE (établi par le comité de bassin) fixe les objectifs à atteindre, notamment par le moyen des SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux dont l'objectif est de préciser le SDAGE à l'échelle des sous-bassins). Les grands axes de cette politique, en relation avec la problématique liée à l'agriculture se traduisent par les objectifs suivants :

- ❖ Gagner la bataille de l'alimentation en eau potable.
- ❖ Poursuivre l'amélioration de la qualité des eaux de surface.
- ❖ Réussir la concertation notamment avec l'agriculture.

1.4. La qualité des eaux : cas particulier des nitrates

1.4.1. Le contexte

La qualité des eaux dans le bassin Loire-Bretagne est évaluée depuis plusieurs années avec le système français d'évaluation appelé SEQ eau. Ce système est fondé sur la notion d'altération, comme par exemple les matières organiques ou les nitrates. La qualité de l'eau est décrite pour chaque altération avec un indice et cinq classes de qualité (six pour les nitrates).

Il n'est pas toujours aisé d'identifier l'origine de la contamination par tel ou tel polluant compte tenu de la complexité des processus de cheminement vers les milieux aquatiques et compte tenu des situations locales très variables (Agence de l'eau Loire-Bretagne, septembre 2002). Toutefois, il est possible de trouver un lien entre certaines

altérations et les activités agricoles, notamment pour les nitrates, les matières phosphorées et les produits phytosanitaires.

1.4.2. Les nitrates : situation actuelle

La présence des nitrates dans les cours d'eau est essentiellement due à l'agriculture et plus particulièrement à l'élevage. D'une manière générale, la situation s'est dégradée depuis 30 ans. La qualité des cours d'eaux du bassin de la Loire était majoritairement classée en bleu et vert dans les années 70 (environ 29 % en bleu, 60 % vert et 11 % en jaune). Les concentrations en nitrates étaient majoritairement inférieures à 10 mg/l. En 2001, le classement faisait état d'environ 4 % de cours d'eau en bleu, 33 % en vert, 38 % en jaune, 21 % en orange et 4 % en rouge. Il est tout de même important de signaler qu'une légère amélioration est constatée ces dernières années. La figure 7 illustre la situation du bassin Loire-Bretagne en 1996.

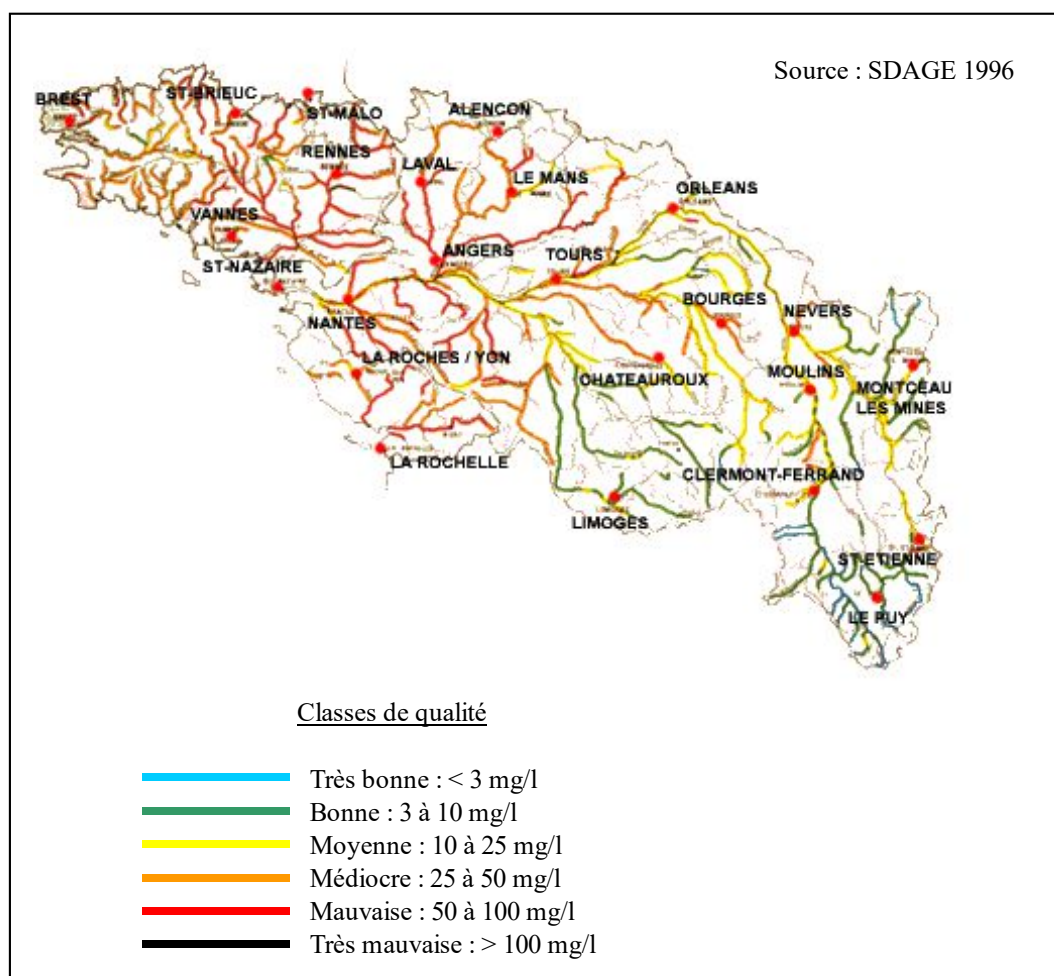


Figure 7 : Qualité des cours d'eau dans le bassin Loire-Bretagne en 1996 (paramètre nitrates)

2. La recherche d'informations

L'objectif de ce travail est de pouvoir réaliser au final une estimation des flux azotés sur plusieurs bassins versants de la Loire et de les comparer avec les éventuels surplus mesurés sur ces mêmes bassins. Pour cela, il est nécessaire de bien cibler les informations dont nous avons besoin pour mettre en œuvre les calculs liés à l'appréciation des surplus. Pour répondre à cette directive, les recherches se sont principalement orientées vers l'acquisition des données suivantes :

- ❖ Les pratiques agricoles conseillées via les cahiers d'épandage et les plans prévisionnels de fertilisation azotée.
- ❖ Les chiffres des ventes d'engrais dans le bassin de la Loire.
- ❖ Les productions animales dans le bassin de la Loire.
- ❖ Les productions végétales dans le bassin de la Loire.

2.1. Les pratiques liées à la fertilisation azotée

2.1.1. Démarche engagée

L'objectif est de collecter des données relatives à la mise en œuvre des traitements de fertilisation azotée afin de mettre en évidence les tendances liées à cet exercice, et donc, de connaître les besoins azotés couramment admis. Pour cela, nous avons pris contact avec la majorité des Chambres d'Agriculture (CA) du bassin Loire-Bretagne dans le but d'obtenir les préconisations qui sont apportées aux exploitants.

La grande majorité des CA dispose d'un outil simple qui permet d'assister l'exploitant pour la fertilisation raisonnée des cultures. Cela consiste en une méthodologie qui permet de déterminer la dose optimale d'azote minérale à apporter en fonction du type de culture, du passif de la culture, du type de sol, du rendement désiré et des apports en azote organique.

2.1.2. Bilan prévisionnel de fertilisation azotée

La fertilisation est l'acte d'entretenir, par des apports organiques et/ou minéraux, la capacité des sols à nourrir les cultures. Optimiser la fertilisation consiste donc à atteindre un équilibre entre les besoins des cultures et les fournitures par les sols, les engrais de ferme et les apports d'engrais minéraux (cf. Figure 8).

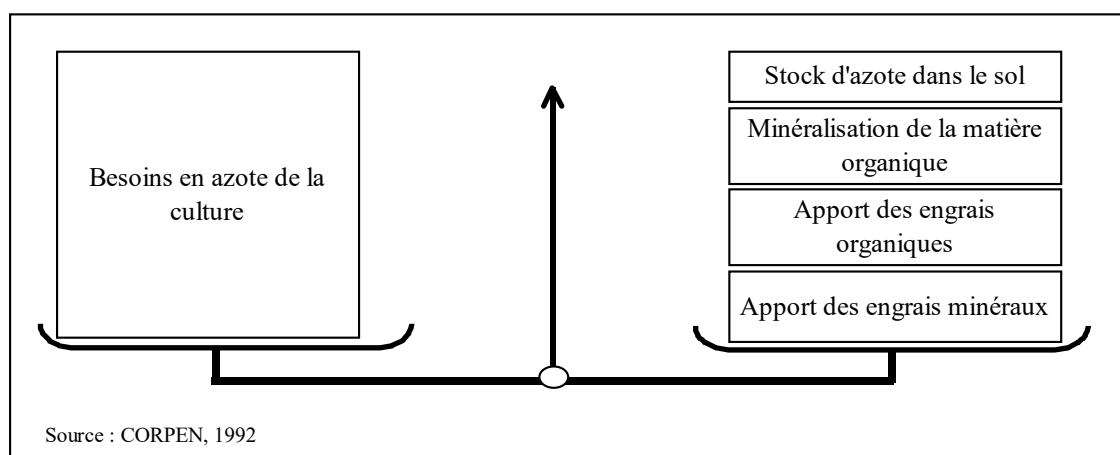


Figure 8 : Bilan prévisionnel de fertilisation azotée

➤ Besoins en azote de la culture

Prévoir la fertilisation consiste à déterminer la dose d'azote à apporter pour un objectif de rendement optimum (correspond au rendement moyen), en prenant en compte les besoins spécifiques liés à la culture.

➤ Stock d'azote dans le sol

Ce stock représente la valeur des reliquats azotés présents à la sortie de l'hiver. Cette valeur est dépendante de la pluviométrie hivernale et du système d'exploitation des cultures.

➤ Minéralisation de la matière organique

Les apports en engrais de ferme réalisés les années précédentes doivent être pris en considération car ils libèrent de l'azote minérale par arrière effet (cf. Partie 1, paragraphe 2.1.4.).

➤ Apport des engrais organiques

Le type, la conduite d'élevage des animaux, l'alimentation sont autant de facteurs qui font varier la composition des fumiers et lisiers.

2.1.3. Que déduire du bilan prévisionnel

Les informations apportées par ces documents nous permettent d'affirmer que la connaissance de la dose d'azote optimale nécessaire au bon développement d'une culture est un travail compliqué qui dépend de multiples facteurs. De ce fait, la caractérisation des besoins azotés des cultures qui est une démarche indispensable pour l'estimation des surplus azotés s'avère être une étape très délicate.

2.2. Les ventes en fertilisants minéraux

Le but de cette étape est de connaître les chiffres des ventes en engrais minéraux dans le bassin de la Loire afin d'apprécier la consommation des agriculteurs en fertilisants azotés minéraux. Pour obtenir ces données, nous avons pris contact avec l'UNIFA (Union des Industries de la fertilisation), organisation professionnelle représentant les industries qui assurent notamment la fabrication de produits destinés à l'agriculture.

Les documents qui nous ont été fournis proviennent du service des statistiques de l'UNIFA et correspondent aux déclarations de livraisons faites (à l'UNIFA) par les producteurs et les importateurs de fertilisants. Les informations mises à notre disposition sont "les livraisons de fertilisants minéraux en France" (par département) de 1999 à 2004. La fiche page ci-contre (livraison pour l'Indre-et-Loire en 2003-2004) illustre comment sont présentés ces documents. Il est important de souligner que les données statistiques ne reflète pas de façon exacte l'utilisation réelle des fertilisants par les agriculteurs. En effet, d'une part l'UNIFA ne tient pas compte des départements où les livraisons concernent plusieurs départements, et d'autre part, elle ne considère pas la variations des stocks chez les distributeurs. Toutefois, ces données restent objectives car d'une manière générale, les faits qui ne sont pas pris en compte doivent se compenser à l'échelle du territoire.

Dans un souci d'exactitude, nous avons cherché à obtenir des informations à une échelle plus réduite (communes ou cantons), mais l'UNIFA n'était pas en mesure de fournir ces données.

2.3. Productions animales et productions végétales

Les documents relatifs aux productions animales et végétales sont issus du SCEES (Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques), service sous la tutelle du ministère de l'Agriculture. Les données publiées par le SCEES sont des rapports annuels qui tiennent compte du recensement de l'utilisation du territoire, des productions animales et végétales à l'échelle du département. Ainsi, ce service a été en mesure de nous transmettre les documents suivants : "Statistique Agricole Annuelle"- résultats 2000, 2001, 2002 et 2003. L'obtention de données à l'échelle de la commune est disponible grâce au Recensement Générale Agricole (RGA) de l'année 2000.

2.3.1. *Effectifs des animaux d'élevages*

L'intérêt des effectifs d'animaux d'élevage dans l'estimation des surplus azotés est essentiel, car ils doivent permettre d'apprécier les apports en azote occasionnés par les déjections animales. Bien que les engrais de ferme soit épandu au champ sous la forme de fumier ou de lisier, il est plus simple d'estimer directement les apports en azote par le biais des déjections. En effet, on considère que les déjections récoltées en bâtiment d'élevage finissent épandu au champ sous forme de fumier et lisier (dans la limite de l'excédent structural. Les apports par les fécès des animaux en pâturage ne posent pas de problèmes puisqu'elles sont directement appliquées aux prairies. Ainsi, par l'intermédiaire de coefficients de rejet (cf. Tableau 2 page ci-contre), on peut aisément calculer les rejets en azote issus des animaux d'élevage.

2.3.2. *Les superficies agricoles*

Les données recueillies auprès du SCEES présentent la répartition des productions végétales à l'échelle du département. A l'instar des effectifs d'animaux d'élevage la connaissance des superficies agricoles est indispensable pour l'évaluation des surplus azotés. En effet, si l'on met en relation le descriptif des surfaces agricoles utilisables avec les informations qui concernent les besoins en azote des plantes, on peut évaluer les quantités théoriques d'azote nécessaire pour la fertilisation azotée des cultures d'un département.

3. Choix de la méthode et définition de la zone d'étude

La recherche, l'acquisition et la synthèse de toutes les informations présentées précédemment doit permettre la mise en place de l'étude des surplus azotés, dont l'objectif est de quantifier les apports et exports d'azote au sein d'une aire géographique donnée (exploitation, bassin versant, département, ...). Pour cela, il convient d'analyser les différentes approches du bilan azoté afin de déterminer la méthode la plus adaptée à nos objectifs.

3.1. Méthodologie du bilan azoté pour l'évaluation des surplus

3.1.1. Les approches possibles

Deux méthodes principales existent pour le calcul du bilan en nutriments. La première, fondée sur des données économiques, s'intéresse à la consommation et la production de biens par l'agriculture. Le calcul du bilan azoté est basé sur la conversion de ces biens en nutriments azotés (cf. Figure 9 page ci-contre). Cette méthode est notamment utilisée par Eurostat qui est l'office statistique des communautés européennes. La seconde, plus proche des considérations agronomiques, consiste à estimer la fertilisation et la production des surfaces agricoles (cf. Figure 10 page ci-contre). Cette approche du bilan azoté à la surface du sol est utilisée par l'Ifen (Institut français de l'environnement), le SCEES et le CORPEN.

Le calcul du bilan par l'approche économique est un exercice qui s'avère extrêmement difficile et peu adapté aux objectifs de notre étude. En effet, il repose sur des données qui n'ont pas été collectées dans ce but, qui peuvent être très imprécises en ce qui concerne les échanges commerciaux intracommunautaires, et leur conversion en unités d'azote nécessite de nombreuses approximations. Par ailleurs, les informations que nous avons recueilli ne permettent aucunement d'envisager l'application de cette méthode. Par conséquent, l'approche agronomique est l'outil le plus adapté compte tenu des informations collectées.

3.1.2. Le bilan azoté à la surface des sols agricoles

La représentation de la pollution diffuse des eaux par l'agriculture passe dans un premier temps par l'identification et la description de l'emploi agricole des composés susceptibles de se retrouver dans les eaux. En ce qui concerne l'azote, des apports sont effectués sur les cultures afin que celles-ci se développent. A la récolte, une large part de l'azote apporté au champ est exportée. Le bilan entre les apports et les exports d'azote est donc un indicateur de la pression agricole sur l'environnement.

La figure 11 présente tous les phénomènes qui interviennent dans le bilan azoté à la surface des sols agricoles. Cette figure reprend les principes généraux de la méthode décrite par le CORPEN (Bilan de l'azote à l'exploitation, 1988). Ainsi, le bilan azoté s'exprime de la façon suivante :

$$\begin{aligned}\text{Bilan} &= \text{Apports} - \text{Exports} \\ \text{Bilan} &= (1+2+3+4+5) - (6+7+8+9)\end{aligned}$$

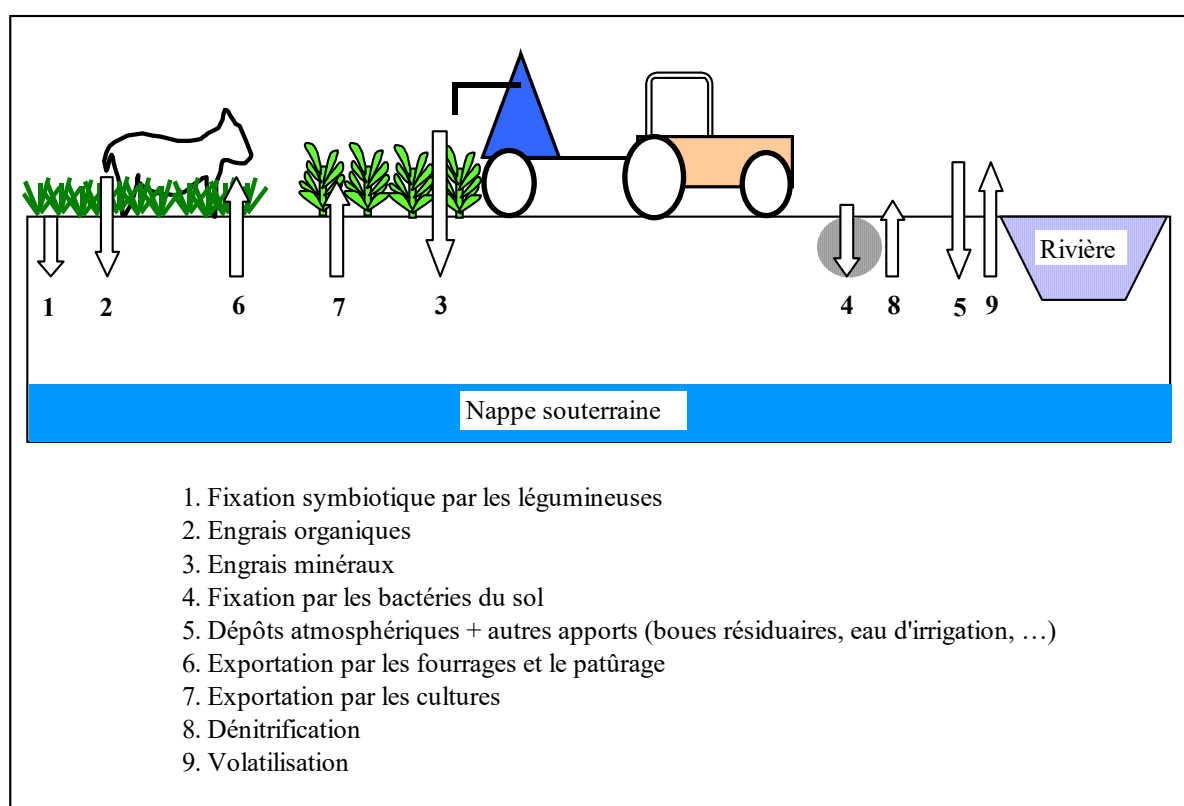


Figure 11 : Bilan azoté à la surface des sols agricoles

La représentation des apports et des exports faite précédemment permet d'illustrer de manière relativement simple les paramètres qui interviennent dans la méthode du bilan à l'échelle agronomique. Cependant, la mise en œuvre des calculs à partir de cette base semble très difficile car certains paramètres ne peuvent être renseignés de manière objective. Par conséquent, il est nécessaire de simplifier le bilan à l'aide d'hypothèses de calcul.

3.1.3. Simplification du bilan

Le bilan azoté à la surface des sols agricoles doit permettre l'estimation des quantités d'azote qui circule au sein d'une aire géographique donnée afin d'identifier d'éventuels surplus. Au vu des informations qui ont été collectées, il paraît indispensable d'émettre des hypothèses pour pouvoir utiliser la méthode du bilan de manière efficace. Voici sur quels phénomènes portent les simplifications :

➤ Fixation symbiotique par les légumineuses

La fixation d'azote par les associations légumineuses-rhizobium dépend notamment de la concentration en nitrates, du pH et de l'humidité du sol. De nombreux ouvrages indiquent que cette fixation peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de kilos par hectare et par an. Ainsi, la prise en compte de ce paramètre dans le calcul du bilan n'est pas possible. Toutefois, le modèle établi par le CORPEN pose l'hypothèse que la fixation et l'exportation d'azote par les légumineuses se compensent. Cela revient donc à fixer une fertilisation nulle pour les légumineuses.

➤ Fixation microbienne

La fixation d'azote atmosphérique par les microorganismes non symbiotiques est un phénomène connu mais difficilement quantifiable. Les apports annuels dans les sols cultivés sont estimés entre 10 et 30 kilos d'azote par hectare mais dans certaines conditions ils peuvent être beaucoup plus importants. N'ayant que très peu de précision, cet apport ne peut être considéré.

➤ Dépôts atmosphériques

Les données mentionnées à ce sujet indiquent des valeurs moyennes de quelques dizaines de kilos par hectare et par an. Là encore, il est possible d'observer des variations locales très importantes. Faute de valeurs précises, les dépôts atmosphériques sont négligés pour la mise en œuvre des calculs.

➤ Autres apports

Les apports en azote liés à l'eau d'irrigation ou l'épandage de boues résiduelles par exemple ne sont pas pris en compte car les données ne sont pas toujours disponibles.

➤ Exportation par les fourrages et le pâturage

L'exportation d'azote par les prairies est inhérente aux besoins des animaux en fourrages. Par conséquent, ce paramètre ne peut être retenu pour le calcul car l'information dépend principalement du type et de la conduite de l'exploitation agricole.

➤ Dénitrification

La dénitrification correspond à la transformation des formes nitriques et nitreuses de l'azote, en protoxyde d'azote (N_2O) et azote moléculaire (N_2). Cette réaction biochimique est réalisée par des bactéries, ce qui signifie que les conditions du milieu ont un rôle important sur l'intensité du phénomène. La dénitrification peut mener à la volatilisation de grandes quantités d'azote en cas d'anoxie, de présence de nitrate et de carbone facilement assimilable. Suivant les caractéristiques du sol on estime que les pertes annuelles sont comprises entre 0 et 50 kilos par hectare. La qualité des données sur la dénitrification ne permet pas d'évaluer précisément ce phénomène.

➤ Volatilisation

La volatilisation est principalement due à l'épandage des effluents d'élevage. La quantité d'azote volatilisée est fonction de la nature de l'effluent (fumier ou lisier), de la composition de l'effluent (teneur en azote) et des conditions météorologiques au cours de la semaine qui suit l'épandage. Par conséquent, il est très difficile d'estimer de manière représentative la volatilisation de l'azote liée à l'épandage des engrais organiques.

La représentation des apports et des exports d'azote repose donc sur quelques hypothèses générales. Ainsi, les phénomènes de dénitrification et de fixation d'azote atmosphérique par les microorganismes non symbiotiques sont supposés négligeables. D'une manière générale, on peut considérer que les phénomènes présentés se compensent et qu'il sont négligeables devant les apports d'engrais et les exportation par les cultures. En conclusion, le bilan azoté à la surface des sols agricoles qui sera utilisé pour la mise en œuvre des calculs s'exprime de la façon suivante :

$\text{BILAN} = \text{Apports par les engrais} - \text{Exports par les cultures}$

3.2. Présentation des bassins versants retenus pour l'étude

Le choix des bassins versants retenus pour l'estimation des surplus azotés à principalement était motivé par les données recueillies sur les pratiques liées à la fertilisation azotée. En effet, comme nous avons pu l'exposer précédemment (2.1.3. *Que déduire du bilan prévisionnel*), il était très difficile de donner une valeur pour la fertilisation azotée nécessaire au bon développement des cultures. Néanmoins, la Chambre d'Agriculture de la Mayenne nous a fourni un rapport relatif à l'analyse des données sur les plans de fumure en 2003-2004 qui permet de fixer les besoins en azote des principales cultures. Par ailleurs, les bassins versants ont été sélectionnés en fonction de plusieurs critères :

- ❖ Présence de stations de mesure de la qualité des eaux dans le cadre du RNB (Réseau National de Bassin).
- ❖ Taille : nous avons opté pour des bassins versants de faible superficie car les cours d'eaux subissent peu de transformation au cours du temps.
- ❖ Faible densité d'habitants : ceci permet notamment d'être le plus représentatif possible du milieu rural (peu de rejets ponctuels liés à la population et aux industries).

Par conséquent, nous avons choisi de réaliser l'étude sur trois rivières (la Vaudelle, l'Erve et la Taude) du département de la Mayenne (53).

3.2.1. Le bassin versant de la Vaudelle (station VAU2)

Le bassin versant en amont de la station VAU2 (référence station du Réseau National de Bassin : 113 100) regroupe 12 communes dont 11 sont situées dans le département de la Mayenne et 1 dans le département de la Sarthe (cf. Figure 12). En ce qui concerne les besoins en azote des cultures, on estime à juste titre que les valeurs mentionnées pour la Mayenne peuvent s'appliquer à la Sarthe (72) car les caractéristiques géologiques sont identiques (Massif Armoricaïn dont la lithologie se compose principalement de roches sédimentaires paléozoïques : les schistes). Le bassin versant de la Vaudelle possède une superficie de 68,9 km² et la station hydrométrique la plus proche est localisée sur la Vaudelle à Saint-Georges-le-

Gaultier. Le bassin versant topographique concerné par cette station est de 89 km² (cf. Figure 13).

Remarques :

- ✓ Le cercle avec le point au centre localise la station hydrométrique.
- ✓ Les figures qui suivent sont représentées au 1 / 130 000.

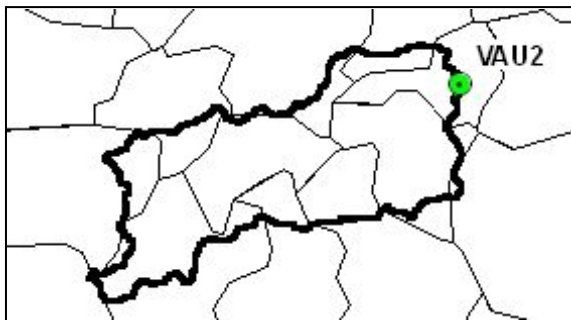


Figure 12 : Répartition communale
du bassin versant de la Vaudelle



Figure 13 : Répartition hydrographique
du bassin versant de la Vaudelle

3.2.2. Le bassin versant de l'Erve (station ERV1)

Le bassin versant de l'Erve se compose de 10 communes (9 dans le département de la Mayenne et 1 dans la Sarthe) et représente une superficie de 62,6 km². La station hydrométrique (référence station : 119 600) de ce bassin est située sur l'Erve à Voutre. Son bassin versant topographique concerne 63 km². Les figures 14 et 15 illustrent la répartition communale et hydrographique du bassin versant de l'Erve.



Figure 14 : Répartition communale
du bassin versant de l'Erve



Figure 15 : Répartition hydrographique
du bassin versant de l'Erve

3.2.3. Le bassin versant de la Taude (station TAD1)

Le bassin versant de la Taude est caractérisée par 7 communes, toutes localisées dans le département 53. Sa superficie est de 47 km² et la station hydrométrique (référence station : 122 300) située à Saint-Brice, couvre un bassin versant topographique de 48 km² (cf. Figure 16 et 17).



Figure 16 : Répartition communale
du bassin versant de la Taude



Figure 17 : Répartition hydrographique
du bassin versant de la Taude

La figure 18 page ci-contre présente la localisation des trois stations hydrométriques dans le bassin de la Loire.

Les représentations cartographiques des trois bassins versants ont été réalisées à partir d'un Système d'Information Géographique (SIG). Les couches thématiques qui présentent la répartition communale et hydrographique sont issues de la Base de Données des communes (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques) et de la Banque de Données Carthage (Direction Régionale de l'ENvironnement).

Pour la suite de l'étude, les bassins versants de la Vaudelle, de l'Erve et de la Taude seront nommés par rapport à la station concernée, à savoir :

- ❖ Bassin versant VAU2 pour la Vaudelle.
- ❖ Bassin versant TAD1 pour la Taude.
- ❖ Bassin versant ERV1 pour l'Erve.

PARTIE 3

*Estimation des surplus azotés
dans les bassins versants de la
Vaudelle, de l'Erve et de la
Taude*

Les recherches entreprises auprès des divers instances du monde agricole ont permis de recueillir les informations nécessaires à la caractérisation des pratiques liées à la mise en œuvre de la fertilisation azotée. En s'appuyant sur cette base de données et sur des modèles existants, nous avons mis en place une étude afin de pouvoir réaliser un bilan azoté au sein de trois petits bassins versants de la Mayenne.

Cette partie vise à évaluer le flux d'azote à la sortie des trois bassins versants (présentés dans la partie 2) et de mettre en relation ces résultats avec l'estimation respective des surplus d'engrais azotés. Je tiens à préciser que ce travail est appliqué à l'azote car la problématique environnementale actuelle est principalement centrée vers les nitrates.

1. Evaluation des flux d'azote

La caractérisation précise du transfert des nutriments azotés vers les hydrosystèmes n'est pas envisageable du fait de la grande complexité des mécanismes qui entre en jeu. Ainsi, il paraît intéressant d'évaluer les flux d'azote que l'on retrouve à la sortie des bassins versants ERV1, TAD1 et VAU2 car cette estimation renseigne sur les quantités d'azote qui atteignent les eaux superficielles.

1.1. Les données nécessaires au calcul des flux

Le terme "flux" représente une quantité de matière par unité de temps. Ainsi, dans le cas d'un flux d'azote appliqué à un hydrosystème, il s'exprime par le facteur d'un débit et d'une concentration. Le calcul des flux d'azote sur les trois bassins versants est réalisé pour les années 1999, 2000 et 2001. Nous avons choisi ces trois années car l'estimation des surplus azotés (qui fait l'objet du prochain chapitre) n'a été effectuée que pour l'année 2000. Ceci vient du fait que les données relatives aux productions animales et végétales les plus récentes sont issues du RGA 2000.

1.1.1. Les débits

Les stations hydrométriques situées à la sortie des bassins versants enregistrent de manière régulière les débits qui circulent. Les données relatives aux débits sont issues de la Banque Hydro disponible sur le site Internet du ministère de l'Environnement. L'annexe 4 page 80 présente les débits enregistrés par les stations hydrométriques.

1.1.2. Les concentrations

L'Agence de l'eau Loire-Bretagne gère, au sein d'une base de données (OSUR), l'ensemble des informations recueillies dans le cadre de la surveillance de la qualité des cours d'eau. L'origine de ces données se limite aux réseaux de mesures principaux pour lesquels l'agence assure le financement ou le co-financement, soit le Réseau National de Bassin (RNB) et les réseaux départementaux.

L'annexe 5 page 82 est un tableau compilé des informations concernant les concentrations en éléments azotés mesurées sur la Taude, la Vaudelle et l'Erve. Les mesures présentées concernent 4 formes de l'azote : les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-), l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote Kjeldahl (NK).

Ce tableau des concentrations permet de faire deux remarques intéressantes :

⇒ Parmi les éléments azotés que l'on retrouve dans les cours d'eau, les nitrates sont très majoritaires.

⇒ Les concentrations de ces 4 éléments observées au cours des années 1999, 2000 et 2001 restent relativement homogènes.

1.2. Les résultats

1.2.1. Présentation des calculs et des résultats

Le tableau 3 page ci-contre présente l'estimation mensuelle des flux calculés pour les années 1999, 2000 et 2001 dans les trois bassins versants. L'azote total (N total) correspond à la somme de l'azote organique et de l'azote minéral :

$$N_{\text{total}} = N_{\text{org}} + N_{\text{min}}$$

$$\text{Or Norg} = \text{NK} - \text{N.NH}_4 \text{ et } \text{Nmin} = \text{N.NH}_4 + \text{N.NO}_2 + \text{N.NO}_3$$

$$\text{Ntotal} = \text{NK} + \text{N.NO}_2 + \text{N.NO}_3$$

Pour cela, il a fallu convertir les concentrations de nitrites et de nitrates en concentrations de l'élément N (exemple : N.NO₃ pour les nitrates). Pour illustrer mon propos, on peut dire que l'écriture N.NO₃ représente la quantité d'azote contenu dans les nitrates.

Les calculs intermédiaires qui ont permis d'estimer l'azote total sont présentés à l'annexe 6. Afin que ces tableaux puissent être compris aisément, nous allons expliquer succinctement quelques uns des calculs. Nous prendrons comme exemple le tableau qui correspond aux calculs réalisés pour le bassin ERV1 (cf. page 85) :

➤ Colonne Q moyen ERV1 (m³/s)

$$Q_{\text{moyen ERV1}} = Q_{\text{moyen station}} / (63 \times 62,6)$$

Le chiffre 63 représente la superficie du bassin versant topographique pris en compte par la station hydrographique et 62,6 correspond à la superficie de ERV1.

➤ Flux NO₃ (g/s)

$$\text{Flux NO}_3 = Q_{\text{moyen ERV1}} (\text{m}^3/\text{s}) \times C_{\text{moyenne NO}_3} (\text{g}/\text{m}^3)$$

➤ Flux N.NO₃ (t/mois)

$$\text{Flux N.NO}_3 = \text{Flux NO}_3 (\text{t}/\text{mois}) / (62/14)$$

Le chiffre 62 est la masse molaire de NO₃ et 14 correspond à la masse molaire de l'élément N.

1.2.2. Interprétation des résultats

D'une manière générale, les flux calculés sont compris entre 1 tonne et 120 tonnes d'azote total par mois. La grande hétérogénéité des flux observés est principalement lié au facteur débit. En effet, les concentrations en nutriments azotés possèdent une variation peu significative (voire pas significative) en comparaison des forts écarts des débits mesurés au cours des trois années. Ainsi, les flux les plus importants s'observent au cours des mois où les débits sont élevés (décembre et janvier), ce qui montre bien l'importance des phénomènes de ruissellement dans le transfert de l'azote vers les milieux aquatiques. L'évolution générale des flux au cours de l'année suit donc l'évolution des débits, ce qui explique que les valeurs calculées pendant l'automne 2001 (automne sec) sont relativement faibles.

En ce qui concerne les résultats par bassin versant, voici ce que l'on peut dire :

➤ L'Erve

Les flux sur l'Erve au cours des années 1999, 2000 et 2001 diffèrent peu d'une année sur l'autre. Les valeurs minimales et maximales observées sont sensiblement identiques puisqu'elles sont comprises entre 4 et 35 tonnes par mois.

➤ La Taude

Les valeurs calculées sur la Taude à la sortie du bassin versant TAD1 sont proches de celles de l'Erve. Cependant, les caractéristiques des bassins versants TAD1 et ERV1 sont différentes. Ainsi, les concentrations mesurées sur la Taude (35 mg/l en moyenne pour les nitrates) sont supérieures aux concentrations enregistrées sur l'Erve (25 mg/l en moyenne pour les nitrates). En ce qui concerne les débits, TAD1 possède une superficie inférieure à ERV1 ce qui implique des débits moins élevés. Ces deux observations conduisent à l'obtention d'un flux quasiment identique sur ces deux bassins versants, flux qui s'interprète différemment suivant le bassin considéré.

➤ La Vaudelle

Les flux d'azote sur la Vaudelle sont beaucoup plus conséquent que les flux observés pour les bassins versants TAD1 et ERV1. A cela, on peut apporter deux explications. Dans un premier temps, les débits qui transitent par la Vaudelle sont deux à trois fois supérieures à ceux mesurés pour la Taude et l'Erve. Par ailleurs, la concentration moyenne en nitrate de la Vaudelle est de 53 mg/l. Par conséquent, ces faits impliquent un flux d'azote nettement plus important.

2. Estimation des surplus azotés

L'objectif de ce travail est de réaliser un bilan de la fertilisation azotée au sein des trois bassins versants afin de mettre en évidence la présence d'éventuels surplus azotés. Ainsi, par l'intermédiaire de ces estimations, nous allons tenter d'établir un lien entre les pratiques agricoles et les flux d'azote observés.

2.1. Définition du “surplus”

Le surplus correspond au résultat positif de la différence entre les entrées et les sorties, sur une surface agricole, d'un élément fertilisant pour une culture donnée à une échelle définie. Cette définition est celle proposée par le CORPEN et utilisée largement en agriculture, notamment par le SCEES. Les postes d'entrées et de sorties pris en compte pour l'appréciation des surplus d'azote sont représentés par les apports et exports d'un élément fertilisant (cf. Partie 2, chapitre 3) à la surface des sols agricoles :

- ⇒ Les entrées : engrais minéraux, engrais organiques, fixation symbiotique par les légumineuses, fixation par les bactéries du sol, dépôts atmosphériques.
- ⇒ Les sorties : exportation par les cultures, exportation par les prairies, volatilisation, dénitrification.

Le surplus correspond donc à la quantité d'élément excédentaire sur une surface agricole donnée qui risque d'être transféré vers le milieu aquatique.

Il est important de rappeler que ces entrées et sorties caractérisent la base du bilan azoté. Cependant, nous avons démontré que tous ces phénomènes ne pouvaient être quantifiés de manière représentative ce qui induisait des simplifications pour la mise en œuvre des calculs de surplus.

2.2. Présentation des données

La méthodologie du bilan azoté mise en place à la partie 2 du présent rapport nous a permis d'établir la relation suivante :

$$\text{Bilan} = \text{Apports par les engrais} - \text{Besoins des cultures en azote}$$

Ainsi, pour mettre en œuvre les calculs de surplus azotés au sein des bassins versants, il faut disposer des informations suivantes :

- ⇒ Productions animales et végétales.
- ⇒ Apports en fertilisants minéraux.
- ⇒ Coefficients de rejet en azote des déjections animales.
- ⇒ Besoins conseillés des cultures en azote.

2.2.1. Productions animales et végétales

Les informations relatives à la répartition des terres agricoles et aux cheptels proviennent du Recensement Général Agricole (RGA) de l'année 2000. L'intérêt qu'offre ces données pour l'estimation des surplus vient du fait qu'elles sont décrites à l'échelle de la commune, ce qui permet d'affiner les calculs.

➤ Les animaux d'élevage

Nous rappelons que les effectifs d'animaux d'élevage doivent permettre d'apprécier les apports en azote occasionnés par les déjections animales, donc les apports par les engrais organiques. Pour cela, tout le cheptel recensé est pris en compte : bovins, caprins, ovins, porcins, équidés et volailles.

➤ Les productions végétales

La répartition des superficies agricoles permet d'évaluer les quantités théoriques d'azote nécessaires pour la fertilisation azotée des cultures. En ce qui concerne les productions végétales, nous avons pris en considération les principales cultures qui sont concernées par les engrais azotés, à savoir : les céréales, les oléagineux, les superficies fourragères, les prairies temporaires et les superficies toujours en herbe. En effet, toutes les cultures comme les fleurs, les légumes frais, les légumes secs, les cultures fruitières et biens d'autres n'entrent pas dans l'estimation des surplus car elles ne sont représentatives de la problématique "azote". De plus, ces cultures ne représentent en moyenne pas plus de 5 % des surfaces fertilisables à l'échelle du département.

2.2.2. Les coefficients de rejet

Les données recueillies sur les coefficients de rejet des déjections animales (cf. Tableau 2 au contre de la page 34) a permis de compiler les valeurs et d'attribuer un coefficient en fonction des différents cheptels recensés par le RGA. Le tableau 4 présente les coefficients utilisés pour l'appréciation des apports en engrais de ferme.

Type de cheptel	Bovins	Equidés	Porcins	Caprins	Ovins	Poulets de chair et coqs	Poules pondeuses
Rejet en azote (kg/animal/an)	53	100	15	10	10	0,18	0,45

Tableau 4 : Coefficients de rejet des déjections animales

2.2.3. Les besoins des cultures en azote

Le rapport “Analyse des données plans de fumures : Campagne 2003-2004” qui nous a été transmis par la Chambre d’Agriculture de la Mayenne fait un état des lieux des plans de fertilisation sur l’ensemble du département et apporte des préconisations quant aux apports recommandés. Ainsi, nous avons utilisé ces données pour définir les besoins en azote des cultures qui interviennent dans le bilan azoté. Le tableau 5 présente les données retenues.

Type de culture	Céréales	Oléagineux	Superficies fourragères principales	Prairies temporaires	Superficies toujours en herbe
Besoin en N (kg/ha/an)	138	70	40	87	85

Tableau 5 : Apports conseillés en azote

2.2.4. Les apports en engrais minéraux

Les seules informations dont on dispose sont détaillées à l’échelle départementale et proviennent de l’UNIFA. Afin de réaliser une étude des surplus plus précises, nous avons cherché à obtenir les livraisons de fertilisants à l’échelle communale mais l’UNIFA n’était pas en mesure de fournir ces données.

2.2.5. Démarche suivie pour la mise en œuvre des calculs

Le principe fondamental de la démarche est de répartir les données dont on dispose à l’échelle des superficies communales incluses dans les bassins versants ERV1, TAD1 et VAU2. La détermination de ces superficies communales a été réalisée par le module de calcul du SIG. Les données du RGA (productions animales et végétales) et livraisons de fertilisants minéraux ont été réparties au prorata des surfaces. Le tableau 6 page ci-contre présente les superficies des communes calculées par le SIG.

2.3. Calculs et résultats

Le tableau 7 présente l'estimation des surplus azotés pour l'année 2000 dans les trois bassins versants.

	ERV1	TAD1	VAU2
Besoins en azote des cultures (t/an)	571,1	362,8	608,6
Apports par les fertilisants minéraux (t/an)	304,2	206,7	332,6
Apports par les fertilisants organiques (t/an)	491,9	223,7	675,0
Surplus (t/an)	225,0	67,6	399,0

Tableau 7 : Estimation des surplus d'azote pour 2000

Ce tableau est un résumé de tous les calculs intermédiaires qui ont été réalisés pour caractériser le bilan azoté à la surface des sols agricoles. La première remarque que l'on peut émettre (suivant la définition du terme "surplus" qui a été donnée précédemment) est que les trois bassins versants étudiés sont dans une situation excédentaire, donc de surplus. Toutefois, les résultats trouvés sont très différents d'un bassin à l'autre alors que les superficies sont relativement similaires. Par conséquent, de nombreuses interprétations peuvent être émises quant aux valeurs de surplus estimées.

Les calculs intermédiaires qui ont permis d'évaluer les besoins des cultures et les apports par les fertilisants minéraux et organiques sont présentés à l'annexe 7. Afin que la lecture et la compréhension de ces tableaux soit rendue plus facile, nous allons expliquer succinctement quelques uns des calculs. Nous prendrons comme exemple les 3 premiers tableaux qui correspondent aux calculs réalisés pour le bassin ERV1 (cf. page 89) :

➤ Les besoins en azote des cultures

Pour chacune des cultures, le besoin estimé est calculé de la façon suivante :

Besoin (t/an) = surface (ha) x besoin (t/ha/an) / (superficie totale de la commune / superficie de la commune incluse dans le bassin versant)

➤ Production d'azote par les animaux d'élevage

Rejet estimé = effectif x coefficient de rejet respectif au cheptel (t/an) / (superficie totale de la commune / superficie de la commune incluse dans le bassin versant)

➤ Quantité de fertilisants azotés livrés

Pour ce calcul, on ne dispose que des données de l'UNIFA qui sont décrites à l'échelle du département. Voici les chiffres utilisés pour le département de la Mayenne en 2000 :

⇒ Livraisons totales en éléments fertilisants azotés : 23 858 tonnes

⇒ Surface fertilisable : 402 000 ha

Livraison estimée par commune = (23 858 x superficie agricole incluse dans le bassin versant) / 402 000

2.3. Interprétation des surplus

Comme nous avons pu le constater, le bilan azoté réalisé sur les bassins versants ERV1, TAD1 et VAU2 révèle une situation de surplus. Cela signifie donc que les apports d'azote effectués sur les cultures sont supérieurs aux besoins conseillers. Dès lors, il est important de comprendre et d'identifier les facteurs qui sont responsables des excédents d'azote.

Les valeurs qui concernent les apports par les fertilisants minéraux posent quelques problèmes car elles ne peuvent être considérées comme représentatives de la situation du bassin versant. En effet, nous avons utilisé les chiffres de ventes de l'UNIFA (échelle départementale) pour estimer la quantité d'engrais minéraux livrée dans chacun des bassins versants. Ainsi, le seul facteur qui intervient dans ce calcul est la surface fertilisable du bassin versant. Il est donc très difficile d'interpréter les chiffres mentionnés car ils diffèrent peu d'un bassin à l'autre.

En ce qui concerne les besoins des cultures, les résultats permettent simplement de dire que les valeurs estimées dépendent principalement de la superficie des bassins et plus particulièrement de la superficie des cultures. Ceci est tout à fait logique, mais ce qu'il faut déduire de cette idée, c'est que les trois bassins versants étudiés possèdent un rapport surface fertilisable/superficie totale très peu différent (0,81 pour VAU2,

0,82 pour ERV1, 0,74 pour TAD1). Par conséquent, les résultats relatifs aux besoins en azote des cultures influencent très peu les différences observées quant aux surplus.

Les estimations des apports en fertilisants organiques sont les résultats qui divergent le plus. Si l'on regarde les calculs réalisés par cheptel, on s'aperçoit que 70 à 90 % des rejets d'azote sont occasionnés par les bovins. Si on prend le cas des bassins VAU2 et ERV1, les surplus calculés sont de 225 et 399 (t/an) et les élevages bovins d'environ 31 000 têtes. Par contre, si l'on considère le bassin TAD1, le surplus est estimé à 67,6 tonnes par an et l'élevage bovin regroupe 9 200 têtes. De ce fait, la responsabilité des surplus est une des conséquences directes de l'élevage, et notamment de l'élevage bovin.

2.4. Responsabilité des activités agricoles dans les flux d'azote observés

2.4.1. Flux et concentrations

Le tableau 8 page ci-contre présente l'évolution des concentrations en nitrates dans les cours d'eau des trois bassins versants. L'interprétation des valeurs renseignées est difficile car l'évolution de ce paramètre au sein des trois cours d'eau est différente. En effet, on a trois situations bien distinctes :

- ⇒ L'Erve : les concentrations en NO_3^- sont relativement constantes tout au long de l'année.
- ⇒ La Vaudelle : les concentrations évoluent au cours de l'année et on se trouve dans une situation où les valeurs mesurées en hiver sont supérieures à celles d'été.
- ⇒ La Taude : dans ce cas, le phénomène est inverse, les concentrations estivales sont supérieures aux concentrations hivernales.

Les différences observées sont étonnantes car d'après nos connaissances, l'évolution type des concentrations en éléments azotés serait plus proche de la situation rencontrée sur la Taude. Ainsi, il est difficile d'engager une discussion sur ces résultats car l'étude ne prend pas en compte suffisamment de bassins versants et les concentrations mesurées sont la conséquence d'une interaction entre une multitude de paramètres (activités agricoles, activités humaines, activités industrielles,

caractéristiques pédologiques, caractéristiques météorologiques, ...) que nous n'avons pas étudié.

Même si une interprétation objective semble laborieuse, on peut remarquer que l'évolution des concentrations au cours de ces trois années restent relativement homogène pour chacun des bassins versants (cf. Graphique page ci-contre). Par conséquent, cela démontre bien que ces concentrations résultent d'une pollution diffuse qui se traduit par :

⇒ Un faible lessivage des terres agricoles l'été suite aux conditions météorologiques favorables. De ce fait, il y a peu d'apport d'eau de ruissellement donc peu d'apport d'azote (en terme de quantité) sur le réseau hydrographique du bassin. Cependant, ces apports restent conséquents car les eaux de ruissellement sont concentrées et les débits sont très faibles. De plus, il faut aussi prendre en compte les apports par les eaux de nappe qui alimentent les cours d'eau en été. Ainsi, les concentrations en azote sont relativement importantes mais les flux sont peu élevés.

⇒ L'hiver est caractérisé par un fort lessivage des sols. Les cours d'eau reçoivent des quantités d'eau de ruissellement très importantes. Cela se traduit par des concentrations en azote peu différentes de celles observées l'été (phénomène de dilution), mais les flux sont très élevés car les débits qui circulent sont nettement supérieurs aux débits estivaux.

2.4.2. Le parallèle entre flux et surplus

L'intérêt de la représentation des flux d'azote en tonne par an est de permettre la comparaison objective des flux observés et des surplus calculés. Le tableau 9 constitue une synthèse du tableau 3 situé au contre de la page 44. Il présente les flux d'azote cumulés pour les années 1999, 2000 et 2001 dans les trois bassins versants étudiés.

L'Erve (ERV1)		La Taude (TAD1)		La Vaudelle (VAU2)	
Année	Flux N total (t/an)	Année	Flux N total (t/an)	Année	Flux N total (t/an)
1999	175,9	1999	125,5	1999	462,2
2000	157,0	2000	121,3	2000	532,8
2001	161,9	2001	122,4	2001	378,3

Tableau 9 : Estimation annuelle des flux d'azote

En ce qui concerne le bassin versant ERV1, l'estimation des flux mensuels pour l'année 2000 et 2001 ne comptait que neuf mois. Ainsi, pour pouvoir évaluer les flux annuels de ces deux années, nous avons repris les valeurs des mois de janvier, mars et juin de l'année 1999.

La première observation que l'on peut faire s'intéresse aux résultats des flux annuels. Si on considère l'ensemble des bassins versants, on s'aperçoit que les valeurs de flux calculés sont très différentes. Par contre, au sein d'un même bassin les résultats divergent peu d'une année à l'autre. Ceci démontre l'incidence des pollutions diffuses sur les cours d'eau. En effet, le caractère homogène des résultats exposés par les tableaux 3 et 8 prouve que l'apport d'azote dans les milieux aquatiques est la conséquence d'un phénomène stable et continu dans le temps.

La comparaison des surplus d'azote estimés pour l'année 2000 avec les flux annuels laisse penser qu'il existe un lien de cause à effet car les résultats sont étonnamment proches (cf. Tableau 10).

L'Erve (ERV1)		La Taude (TAD1)		La Vaudelle (VAU2)	
Surplus d'N (t/an)	Flux N total (t/an)	Surplus d'N (t/an)	Flux N total (t/an)	Surplus d'N (t/an)	Flux N total (t/an)
225,0	157,0	67,6	121,3	399,0	532,8

Tableau 10 : Comparaison surplus/flux

Les résultats qui concernent ERV1 sont tout de même surprenant car d'une manière générale il paraît plus logique d'obtenir un surplus inférieur au flux. Il serait intéressant d'envisager cette étude sur un grand nombre de bassins versants de superficie très différente afin de voir comment évolue les différences entre surplus et

flux. Cela permettrait notamment d'évaluer si la méthode apporte des résultats cohérents à toutes les échelles et donc de tester les limites des calculs mis en œuvre.

Ce tableau ne permet pas de conclure de manière précise sur la part de responsabilité de l'agriculture dans la contamination des hydrosystèmes par l'azote. En effet, les surplus ont été appréciés par une méthode de calcul simplifiée qui tient compte de nombreux coefficients. De plus, pour pouvoir évaluer la fraction du surplus qui va contaminer les cours d'eau, il faut être capable de modéliser le transfert de l'azote des sols vers les eaux. Cependant, on sait grâce à des études menées par l'Agence de l'eau Loire-bretagne, que les activités agricoles seraient responsables pour près de 50 % de la pollution des cours d'eau par les nitrates. Ainsi, les résultats comparés des surplus et des flux permettent seulement de confirmer que l'agriculture et notamment l'élevage possède une importante responsabilité dans la contamination des eaux en éléments azotés.

2.5. La méthode du bilan : discussion et perspectives

L'étude des surplus azotés qui a été menée sur les trois bassins versants de la Mayenne a permis de mettre en relation l'état des milieux aquatiques avec les pressions exercées par la fertilisation azotée des cultures. Néanmoins, la méthodologie que nous avons mis en œuvre dans cet exercice doit être examinée afin d'en définir les limites.

2.5.1. Pallier les faiblesses du calcul du bilan azoté

Le calcul du bilan azoté tel qu'il a été présenté dans cette étude ne prend pas en compte certains phénomènes importants : la fixation symbiotique par les légumineuses, la fixation par les bactéries, les dépôts atmosphériques, l'exportation par les fourrages et le pâturage, la dénitrification et la volatilisation. Il est évident que parmi ces phénomènes, tous ne peuvent être caractérisés de manière représentative. Toutefois, des études engagées par l'Ifen sur le développement d'un logiciel (baptisé NOPOLU) dont l'objectif est d'évaluer la pollution diffuse des eaux par l'agriculture devraient permettre de renseigner sur l'influence de ces phénomènes.

2.5.2. Estimer le transfert du sol vers les eaux

La méthodologie du bilan azoté à la surface des sols permet d'apprécier le surplus d'azote sur une aire géographique donnée. L'établissement d'une corrélation précise entre les flux d'azote observés et les surplus doit faire intervenir l'étude du transfert des nutriments azotés du sol vers les eaux. Cette étape est de toute évidence très difficile à mettre en œuvre car une telle modélisation nécessite de s'intéresser au volume d'eau drainé en fonction de la capacité de stockage en eau des sols.

Ces deux aspects permettent de comprendre à quel point il est difficile d'établir un lien précis entre l'état des cours d'eau et la fertilisation agricole. Ainsi, il est important de comprendre que l'étude entreprise dans ce rapport sur l'estimation des surplus azotés a pour unique vocation d'apprécier les excédents azotés d'une manière simplifiée, et que par conséquent, les résultats présentés doivent être considérés comme une approche sommaire.

RESUME

Le suivi de la qualité des eaux du bassin de la Loire qui est assuré par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne démontre un triste constat : depuis près de trente ans, la qualité des hydrosystèmes s'est fortement dégradée. Les polluants essentiellement incriminés sont l'azote (notamment les nitrates) et le phosphore. L'évolution des pratiques agricoles qui a conduit à une utilisation excessive des fertilisants est la principale cause de cette situation. Actuellement, on considère que la responsabilité de l'agriculture dans la pollution des eaux est d'environ 50 %.

Dans le but d'apprécier la relation entre les pratiques agricoles et l'état des cours d'eau, nous avons étudié les bases de la fertilisation des cultures, afin d'expérimenter une méthodologie de calcul qui permette de réaliser un bilan de la fertilisation azotée à la surface des sols agricoles. Ainsi, nous avons pu analyser la situation de l'azote sur trois bassins versants de la Mayenne grâce à l'étude et la comparaison de deux composantes :

- ❖ Les surplus azotés (calculés par la méthode du bilan).
- ❖ Les flux d'azote (mesurés à la sortie des bassins versants).

L'importante corrélation des résultats obtenus a permis de confirmer l'incidence certaine de l'agriculture sur la qualité des cours d'eau et de discuter sur l'objectivité de la méthodologie de calcul utilisée pour l'estimation des surplus.

Mots clés : bassin de la Loire, qualité, hydrosystème, azote, nitrates, phosphore, fertilisants, agriculture, bilan, surplus, flux

SUMMARY

The follow-up of the water quality in the catchment of the Loire which is ensured by the Water Agency Loire-Bretagne shows a sad report : since nearly thirty years, quality hydrosystems was strongly degraded. The primarily accused pollutants are the nitrogen (particularly the nitrates) and phosphorus. The evolution of agricultural convenient which led to an excessive use of fertilizers is the principal cause of this situation. Currently, it is considered that the responsibility of agriculture in the water pollution is approximately 50 %.

To appreciate the relation between agricultural convenient and the state of the rivers, we studied cultures fertilization in order to experiment a method which makes it possible to carry out an assessment (balance-sheet) of nitrogenized fertilization on agricultural ground. Thus, we could analyse the situation of nitrogen on three catchment of Mayenne thanks to the study and the comparison of two components :

- ❖ Nitrogenized surpluses (calculated by the method of the balance sheet)
- ❖ Nitrogen flows (measured on the outlet side of the catchment)

The important correlation of the results obtained made it possible to confirm the incidence of agriculture on water quality and to discuss the objectivity of the method used to estimate the surpluses.

Key words : catchment of the Loire, quality, hydrosystems, nitrogen, phosphorus, fertilizers, agriculture, balance-sheet, surpluses, flows

CONCLUSION

L'étude des surplus azotés a été engagée afin d'établir une correspondance entre l'utilisation des engrais et la contamination des cours d'eau par les matières azotées.

La première étape de cette étude avait pour but de caractériser les pratiques liées à la fertilisation azotée afin d'une part de définir les besoins en azote des cultures, et d'autre part, d'identifier les sources d'azote grâce à l'examen des plans de fumure. Ce travail de recherche bibliographique a permis notamment d'affirmer la complexité de la mise œuvre d'une fertilisation raisonnée, mais aussi d'envisager l'utilisation d'une méthode de calcul permettant de réaliser un bilan de la fertilisation azotée à la surface des sols agricoles.

Dans un second temps, nous avons engagé l'étude des surplus azotés (estimation pour l'année 2000) sur trois bassins versants de la Mayenne, par utilisation de la "méthode du bilan" définie lors de la première étape. Les résultats obtenus ont révélé que les bilans de la fertilisation azotée sur les trois bassins versants étaient excédentaires :

- ❖ Bassin versant ERV1 : surplus d'azote : 225 t/an
- ❖ Bassin versant TAD1 : surplus d'azote : 67,6 t/an
- ❖ Bassin versant VAU2 : surplus d'azote : 399 t/an

Pour permettre d'apprécier l'influence des activités agricoles sur la pollution des hydrosystèmes, on a cherché à mettre en relation l'estimation des surplus azotés avec les quantités d'azote retrouvées dans les exutoires des trois bassins versants. Les résultats des flux d'azote mesurés sur l'Erve, la Taude, et la Vaudelle ont permis de confirmer la forte implication de l'agriculture :

- ❖ L'Erve (ERV1) : flux : 157 t/an
- ❖ La Taude (TAD1) : flux : 121,3 t/an
- ❖ La Vaudelle (VAU2) : 532,8 t/an

L'évolution de la qualité des eaux dans le bassin Loire-Bretagne est marquée par une importante dégradation des eaux superficielles et souterraines sur les trente dernières années. Les substances responsables sont : les matières phosphorées, les nitrates et les produits phytosanitaires. Ainsi, le problème posé par la pollution des eaux constitue l'enjeu majeur de la politique de gestion durable de la ressource menée par les pouvoirs publics. Même si l'agriculture ne porte pas l'entière responsabilité de cette situation, il est naturel quelle soit au cœur des débats sur la réforme de la politique de l'eau engagée par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

BIBLIOGRAPHIE

Références Documents

- 📖 Agence de l'eau Loire-Bretagne.- L'eau en Loire-Bretagne, octobre 2001, n°63, 16 p.
- 📖 Agence de l'eau Loire-Bretagne.- L'eau en Loire-Bretagne, septembre 2002, n°66, 21 p.
- 📖 Comité d'Orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates provenant des activités agricoles (CORPEN).- Bilan de l'azote à l'exploitation.- Ministère l'Environnement, Direction de l'eau, Mission Eau-Nitrates, novembre 1988, p. 1-19
- 📖 Comité d'Orientation pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates provenant des activités agricoles (CORPEN).- Recueil des bases de préconisations de la fertilisation azotée des cultures.- Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement, Mission Eau-Nitrates, octobre 1992, p. 5-43
- 📖 Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales ; Direction des affaires financières ; Service central des enquêtes et études statistiques ; Bureau de l'information statistique.- Statistique agricole annuelle : Résultat 2000.- Agreste Chiffres et Données Agriculture, n° 138, janvier 2002, p. 20-25, 122-135.- 251 rue de Vaugirard, 75 732 PARIS CEDEX 15
- 📖 Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales ; Direction des affaires financières ; Service central des enquêtes et études statistiques ; Bureau de l'information statistique.- Statistique agricole annuelle : Résultat 2001.- Agreste Chiffres et Données Agriculture, n° 142, juillet 2002, p. 20-25, 122-135.- 251 rue de Vaugirard, 75 732 PARIS CEDEX 15
- 📖 Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales ; Direction des affaires financières ; Service central des enquêtes et études statistiques ; Bureau de l'information statistique.- Statistique agricole annuelle : Résultat 2002.- Agreste Chiffres et Données Agriculture, n° 150, juillet 2003, p. 20-25, 122-135.- 251 rue de Vaugirard, 75 732 PARIS CEDEX 15
- 📖 Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales ; Direction des affaires financières ; Service central des enquêtes et études statistiques ; Bureau de l'information statistique.- Statistique agricole annuelle : Résultat 2003.- Agreste Chiffres et Données Agriculture, n° 160, août 2004, p. 20-25, 122-135.- 251 rue de Vaugirard, 75 732 PARIS CEDEX 15
- 📖 Services Central des Enquêtes et des Etudes Statistiques (SCEES).- Présentation du bilan de l'azote.- Ministère de l'Agriculture, 2002, 10p.

- 📖 SIRON Jean, OUVRARD Fanny, 2004.- Analyse des données “plans de fumure”, campagne 2003-2004.- Chambre d’Agriculture de la Mayenne, 27 p.
- 📖 Union des Industries de la Fertilisation, 1991.- Azote, Agriculture, Environnement.- UNIFA, 14 rue de la République, 92800 PUTEAUX, 36 p.
- 📖 Union des Industries de la Fertilisation.- Les livraisons de fertilisants minéraux en France : exercice 1999-2000, 2000-2001, 2001-2002, 2002-2003.- UNIFA, 14 rue de la République, 92800 PUTEAUX

Référence Internet

- 📖 Agence de l’eau Loire-Bretagne.- SDAGE 1996 [en ligne]. Disponible sur Internet :
<http://www.eau-loire-bretagne.fr/sdage>
- 📖 Agence de l’eau Loire-Bretagne.- osur web : mesure de la qualité des eaux de surface [en ligne]. Disponible sur Internet :
<http://carto.eau-loire-bretagne.fr/osur/top.jps>
- 📖 DIREN.- Zones vulnérables du Bassin Loire-Bretagne : Evolutions des teneurs en nitrates dans les eaux douces de 1992 à 2001 [en ligne]. Disponible sur Internet :
<http://www.centre.ecologie.gouv.fr/rapport.htm>
- 📖 Encyclopédie en ligne.- l’Encyclopédie En Ligne Universelle [en ligne]. Disponible sur Internet :
http://www.encyclopedia-enligne.com/p/pr/produit_fertilisant.html
- 📖 Ineris.- La référence technique, législative et réglementaire des Installations Classées pour la Protection de l’Environnement [en ligne]. Disponible sur Internet :
http://aida.ineris.fr/sommaires_textes/sommaire_chronologique/cadre_chronologique.htm
- 📖 Ministère de l’Ecologie et du Développement Durable.- Banque nationale de données pour l’hydrométrie et l’hydrologie [en ligne]. Disponible sur Internet :
<http://hydro.rnde.tm.fr/accueil.html>
- 📖 UNIFA.-Les engrais nourrissent le monde [en ligne]. Disponible sur Internet :
<http://www.unifa.com>
- 📖 UNIFA.- La Fertilisation [en ligne]. Disponible sur Internet :
<http://www.unifa.fr/indexh2.htm>

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE 1 :

Décret n° 2001-34 du 10 janvier 2001 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole..... p. 62

ANNEXE 2 :

Arrêté du 7 mars 2002 relatif au projet d'amélioration des pratiques agronomiques..... p. 66

ANNEXE 3 :

Arrêté du 22 novembre 1993 relatif au Code des bonnes pratiques agricoles p. 70

ANNEXE 4 :

Débits mesurés par les stations hydrométriques p. 80

ANNEXE 5 :

Concentrations en éléments azotés mesurées sur la Taude, la Vaudelle et l'Erve..... p. 82

ANNEXE 6 :

Calcul des flux de N.NO₃, N.NO₂ et de NK pour les bassins versants
ERV1, TAD1 et VAU2 p. 84

ANNEXE 7 :

Calcul des besoins en azote des cultures et des apports en fertilisants minéraux et organiques
pour les bassins versants ERV1, TAD1 et VAU2..... p. 88

ANNEXE 1

Décret n° 2001-34 du 10 janvier 2001 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole

Source : aida.ineris

**Décret n° 2001-34 du 10 janvier 2001 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole
(JO du 13 janvier 2001)**

Article 1er du décret du 10 janvier 2001

Dans chacune des zones vulnérables délimitées conformément aux dispositions du décret du 27 août 1993 susvisé, ou parties de zones vulnérables, l'utilisation des fertilisants organiques et minéraux, naturels et de synthèse contenant des composés azotés, ci-après dénommés fertilisants azotés, ainsi que les pratiques agricoles associées font l'objet d'un programme d'action.

Ces programmes s'appliquent sans préjudice des dispositions à caractère obligatoire prises au titre d'un autre texte législatif ou réglementaire.

Article 2 du décret du 10 janvier 2001

Le programme d'action relatif à une zone ou partie de zone vulnérable comporte les mesures et actions nécessaires à une bonne maîtrise de la fertilisation azotée et à une gestion adaptée des terres agricoles dans cette zone, en vue de limiter les fuites de composés azotés à un niveau compatible avec les objectifs de restauration et de préservation, pour le paramètre nitrates, de la qualité des eaux superficielles et souterraines.

Ce programme tient compte de la situation locale et de son évolution, notamment de la teneur en nitrates des eaux superficielles et souterraines, des systèmes de production et des pratiques agricoles, du degré de vulnérabilité du ou des aquifères concernés et de la présence de nitrates de provenances autres qu'agricoles.

Il est élaboré à partir d'un diagnostic tenant compte entre autres des données scientifiques et techniques disponibles et des résultats connus du programme d'action précédent. Le choix des modalités envisageables pour chaque mesure ou action tient compte de leur efficacité et de leur coût.

Il fixe :

- 1° Les prescriptions relatives à l'établissement des plans de fumure et à la tenue par chaque exploitant d'un ou plusieurs cahiers d'épandage des fertilisants azotés.
- 2° La quantité maximale d'azote contenu dans les effluents d'élevage pouvant être épandue annuellement par chaque exploitation, y compris les déjections des animaux eux-mêmes ; cette quantité ne peut, d'ici à la fin du premier programme d'action, être supérieure à 210 kg d'azote par hectare de surface agricole utile, déduction faite des surfaces où l'épandage est interdit, et à 170 kg par hectare de la même surface, dite épandable à l'issue du programme suivant et au plus tard à partir du 20 décembre 2002.
- 3° Les modalités d'épandage à respecter pour assurer l'équilibre de la fertilisation azotée de chaque parcelle, y compris les adaptations liées à la présence de cultures irriguées.
- 4° Les périodes d'interdiction d'épandage de fertilisants azotés.
- 5° Les conditions particulières de l'épandage des fertilisants azotés, liées à la proximité des eaux de surface, à l'existence de fortes pentes, à des situations où les sols sont détrempés, inondés, gelés ou enneigés.
- 6° Les prescriptions relatives à la capacité de stockage des effluents d'élevage, qui doit être suffisante pour que soient respectées en toutes circonstances les prescriptions relatives à l'épandage de ces effluents compte tenu des possibilités de les traiter et de les éliminer.
- 7° Les modalités relatives à une gestion adaptée des terres, si nécessaire.
- 8° Toute autre mesure utile répondant aux objectifs et aux critères ci-dessus notamment la limitation des apports azotés minéraux.
- 9° Les actions renforcées prévues aux articles 3 et 4, le cas échéant.

Un arrêté pris conjointement par les ministres chargés de l'agriculture, de l'environnement et de la santé précise la méthodologie d'élaboration et le cadre technique des programmes d'action.

Article 3 du décret du 10 janvier 2001

Dans les cantons en excédent structurel d'azote lié aux élevages, le programme d'action comprend, outre les mesures définies à l'article 2, adaptées si nécessaire, des actions renforcées. Un canton est considéré en excédent structurel d'azote lié aux élevages dès lors que la quantité totale d'effluents d'élevage produite annuellement conduirait, si elle était épandue en totalité sur le territoire du canton, à un apport annuel d'azote supérieur à 170 kg par hectare de surface épandable.

Les actions renforcées sont définies de manière à respecter à l'échelle du canton concerné les limites et échéances fixées au 2° de l'article 2.

Elles comportent :

1° La fixation obligatoire, par canton, de l'étendue maximale des surfaces d'épandage autorisées pour chaque exploitation.

2° L'obligation faite aux exploitants de traiter ou de transférer les effluents d'élevage ne pouvant être épandus dans la limite de ces maxima. Le transfert consiste en un épandage en dehors des cantons où la quantité d'effluents d'élevage produite annuellement par l'ensemble du cheptel du canton conduirait, si elle était totalement épandue sur le territoire du canton, à un apport annuel d'azote supérieur à 140 kg par hectare épandable.

3° Si nécessaire, une obligation de traitement ou de transfert des effluents pour les exploitations excédant une taille définie par le programme d'action, limitant l'épandage aux seules terres exploitées en propre, même si leur surface est inférieure aux maxima définis en application du 1° du présent article.

4° L'interdiction pour chaque exploitant du canton d'augmenter ses effectifs animaux par espèce tant que la résorption de l'excédent structurel d'azote lié aux élevages n'est pas réalisée. Dans le respect des objectifs de réduction des apports azotés fixés à l'article 2 du présent décret, des dérogations peuvent être accordées par le préfet, afin de permettre l'installation de jeunes agriculteurs et de ne pas entraver le développement indispensable des exploitations de dimension économique insuffisante sans lesquelles puissent excéder 3 unités de travail agricole (UTA) et dans les limites figurant en annexe. Les conditions en sont fixées par l'arrêté ministériel prévu à l'article 2 du présent décret, sans que ces dérogations puissent avoir pour effet, dans le canton concerné, de réduire de plus de 25 % la quantité d'azote effectivement résorbée dans le cadre des actions renforcées définies au présent article, et de 15 % si le canton est situé dans un bassin versant soumis aux dispositions de l'article 4 du présent décret.

Article 4 du décret du 10 janvier 2001

Dans les bassins versants situés en amont des prises d'eau superficielle utilisée pour la production d'eau destinée à la consommation humaine qui présentent des concentrations en nitrates ne respectant pas les exigences de qualité fixées par l'article 16 et l'annexe I-3 du décret du 3 janvier 1989 susvisé, le préfet détermine les zones dans lesquelles le programme d'action comporte, outre les mesures mentionnées à l'article 2 du présent décret et adaptées si nécessaire, des actions complémentaires.

Les actions complémentaires comportent :

1° L'obligation de couverture du sol sur toutes les parcelles pendant les périodes présentant des risques de lessivage.

2° L'obligation, en bordure des cours d'eau, de maintenir l'enherbement des berges, les surfaces en herbe, haies ou arbres et tout aménagement continuant à limiter le transfert d'azote vers les eaux superficielles.

3° La fixation de prescriptions relatives au retournement des prairies de plus de trois ans.

4° La limitation des apports d'azote, toutes origines confondues.

5° Le cas échéant, certaines des actions renforcées citées à l'article 3.

Ces mesures, ajustées à l'ampleur du dépassement constaté, s'imposent à chaque exploitant agricole sur les terres de son exploitation situées dans le bassin versant concerné. Elles visent à restaurer une eau conforme aux exigences de qualité fixées dans l'annexe I-3 du décret du 3 janvier 1989 susvisé. Elles peuvent être adaptées à chaque exploitation ou groupe d'exploitations en fonction de leur situation dans le bassin versant et des risques qui leur sont spécifiques.

Elles sont inscrites dans le plan de gestion des ressources en eau prévu par l'article 18 du décret du 3 janvier 1989 susvisé.

Si, au cours d'un programme d'action, les concentrations en nitrates d'un bassin versant situé en amont d'une ou plusieurs prises d'eau superficielle destinées à la production d'eau destinée à la consommation humaine viennent à dépasser les limites fixées à l'annexe I-3 du décret du 3 janvier 1989 susvisé, des actions complémentaires sont mises en vigueur dans un délai de six mois à compter de la constatation du dépassement par le préfet.

Article 5 du décret du 10 janvier 2001

Le programme d'action est arrêté par le préfet après avoir consulté le conseil général, le conseil départemental d'hygiène, la chambre départementale d'agriculture, l'agence de l'eau et, s'il y a lieu, le comité technique de l'eau, qui disposent chacun de deux mois pour faire connaître leur avis. A l'issue de ce délai, les consultations sont réputées effectives.

Le programme d'action est réexaminé et, le cas échéant, révisé, tous les quatre ans au moins, à l'initiative du préfet et selon les mêmes formes.

Dans les cas de situations exceptionnelles, tels les grands accidents climatiques, le préfet peut déroger temporairement à certaines mesures du programme d'action, après avoir pris l'avis du conseil départemental d'hygiène.

Article 6 du décret du 10 janvier 2001

Sans préjudice de la mise en œuvre du programme de surveillance de la teneur des eaux en nitrates d'origine agricole, les ministres chargés de l'agriculture, de l'environnement et de la santé évaluent au moins tous les quatre ans l'efficacité des programmes d'action. A cet effet, ils peuvent consulter l'assemblée permanente des chambres d'agriculture, les organisations professionnelles agricoles, les associations agréées de protection de l'environnement, les associations de consommateurs, ainsi que les distributeurs d'eau.

Article 7 du décret du 10 janvier 2001

Sans préjudice des dispositions des articles L. 216-6 à L. 216-13 du Code de l'environnement, est puni de la peine d'amende prévue pour les contraventions de la 5^e classe le fait de ne pas respecter, dans les zones vulnérables, les prescriptions des programmes d'action prévues aux articles 2, 3 et 4 du présent décret.

Les personnes morales peuvent être déclarées responsables pénalement, dans les conditions prévues par l'article 121-2 du Code pénal. Elles encourrent la peine d'amende les modalités prévues à son article 131-41.

La récidive est réprimée conformément aux articles 132-11 et 132-15 dudit code.

Article 8 du décret du 10 janvier 2001.

Le décret n° 96-163 du 4 mars 1996 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole est abrogé.

Toutefois, les programmes d'action en vigueur continuent de produire leur effet jusqu'à la publication des arrêtés préfectoraux pris pour l'application du présent décret.

Article 9 du décret du 10 janvier 2001

La ministre de l'emploi et de la solidarité, la garde des sceaux, ministre de la justice, le ministre de l'intérieur, le ministre de l'agriculture et de la pêche, la ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement et la secrétaire d'Etat à la santé et aux handicapés sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

ANNEXE 2

Arrêté du 7 mars 2002 relatif au projet d'amélioration des pratiques agronomiques

Source : aida.ineris

**Arrêté du 7 mars 2002 relatif au projet d'amélioration des pratiques
agronomiques
(JO du 21 mars 2002)**

Article 1

Le présent arrêté définit le contenu du projet d'amélioration des pratiques agronomiques, dénommé ci-après " projet agronomique " visé à l'article 2 du décret du 4 janvier 2002 susvisé. Sa fourniture conditionne le versement du solde de la subvention pour les travaux dans les conditions prévues à l'article 15 de l'arrêté du 26 février 2002 relatif aux aides pour la maîtrise des pollutions liées aux effluents d'élevage.

Article 2

Le projet agronomique est constitué d'un ensemble de prescriptions visant à maîtriser les pollutions liées aux effluents d'élevage et pouvant être engendrées par les pratiques agronomiques de l'agriculteur sur son exploitation et sur les parcelles d'épandage mises à disposition par des tiers.

Par ailleurs, il comporte une liste d'indicateurs de risque de pollution lié aux pratiques agronomiques qui montrent que le respect des prescriptions permet la maîtrise des pollutions.

Article 3

Les prescriptions du projet agronomique comportent au minimum les éléments suivants :

- la réalisation d'un plan d'épandage,
- la réalisation d'un plan de fumure annuel,
- l'enregistrement des pratiques de fertilisation azotée et de gestion de l'interculture dans un cahier d'épandage,
- les modalités de gestion de l'interculture et, si nécessaire, de gestion des terres.

Le projet agronomique indique notamment les prescriptions issues du diagnostic prévu à l'article 7 de l'arrêté du 26 février 2002 susvisé qui doivent être mises en œuvre par l'agriculteur avant la réalisation des travaux.

Dans les zones d'action prioritaire arrêtées au titre du point 1 de l'article 3 du décret du 4 janvier 2002 susvisé où la maîtrise des rejets de phosphore provenant des élevages est nécessaire au regard des problèmes d'eutrophisation, des prescriptions complémentaires spécifiques sont fixées par arrêté préfectoral afin de réduire les risques liés à cet élément fertilisant.

Article 4

Le plan d'épandage est un document de synthèse qui définit, en fonction de leur aptitude à l'épandage, les parcelles cadastrales qui pourront faire l'objet d'épandage d'effluents organiques. Il montre que l'ensemble des effluents d'élevage peut être épandu dans des conditions environnementales satisfaisantes, y compris sur les parcelles mises à disposition par des tiers.

Il comporte au minimum les éléments suivants :

- l'identité et l'adresse de l'exploitant et des éventuels prêteurs de terres,
- l'identification des parcelles (références cadastrales) regroupées par exploitant,
- une représentation cartographique à une échelle comprise entre 1/10 000 et 1/5 000 des parcelles concernées, des surfaces exclues de l'épandage et du motif des exclusions en tenant compte de la réglementation (notamment distance vis-à-vis des cours d'eau et tiers, pentes) et des autres contraintes d'épandage (notamment localisation des parcelles, nature du sol),
- les surfaces totale et épandable de chaque parcelle,
- les systèmes de culture (cultures en place et principales successions),
- la nature, la teneur en azote avec indication du mode d'évaluation de cette teneur (analyses ou références) et la quantité des effluents qui seront épandus,
- les doses maximales admissibles par type d'effluent, de sol et de cultures en utilisant des références locales,
- un calendrier prévisionnel d'épandage rappelant, en zone vulnérable, les périodes d'épandage interdit et, en dehors de ces zones, les périodes d'épandage inapproprié,
- le solde de la balance globale en phosphore avant engrais minéraux de l'exploitation, exprimé en kilogrammes de phosphore par hectare de surface agricole utile (SAU).

Les parcelles mises à disposition par des tiers font l'objet de contrats écrits reprenant l'ensemble de ces éléments, à l'exception du dernier alinéa.

Article 5

Le plan de fumure annuel permet de prévoir, en fonction des cultures en place et de leurs rendements prévisibles, les apports de fertilisants azotés en se fondant sur une fertilisation équilibrée.

Il est établi avant chaque campagne pour les parcelles exploitées en propre, éventuellement regroupées en " îlots culturels ". Par îlot culturel, on entend un regroupement de parcelles homogènes du point de vue de la culture concernée, de l'histoire culturale (notamment pour ce qui concerne les successions et les apports organiques) et de la nature du terrain.

Il comporte au minimum les éléments suivants :

- la culture pratiquée,
- les objectifs de rendement réalistes et les besoins prévisibles en azote des cultures, en tenant compte du contexte pédoclimatique et du mode d'exploitation des parcelles concernées. Pour les cultures fourragères, les objectifs de rendement tiennent compte du chargement effectif de la surface fourragère,
- les apports de fertilisants azotés organiques et minéraux, en précisant leur nature, envisagés pour chaque parcelle ou îlot culturel, en se fondant sur l'équilibre entre les besoins prévisibles en azote des cultures et les apports et sources d'azote de toute nature,
- les périodes d'apports prévues.

Article 6

L'enregistrement des pratiques de fertilisation azotée est réalisé par la tenue à jour d'un cahier d'épandage qui doit regrouper, pour chaque parcelle ou îlot culturel défini à l'article 5 du présent arrêté, y compris pour les parcelles mises à disposition par des tiers, les informations suivantes relatives aux effluents d'élevage issus de l'exploitation:

- l'identification des parcelles réceptrices épandues en précisant, pour les parcelles mises à disposition par des tiers, leur identité et adresse,
- les superficies effectivement épandues,
- les dates d'épandage,
- les cultures visées,
- la nature des produits épandus,
- la quantité totale d'azote issue des effluents de l'exploitation épandus par type de fertilisants,
- le mode et le délai d'enfouissement.

En outre, chaque fois que des effluents d'élevage produits par une exploitation sont épandus sur des parcelles mises à disposition par des tiers, le cahier d'épandage doit comprendre un bordereau cosigné par le producteur des effluents et le destinataire. Ce bordereau est établi à chaque livraison. Il est destiné à renseigner le cahier d'épandage et doit comporter, outre la date de livraison, au minimum les informations mentionnées ci-dessus.

Pour tous les épandages de fertilisants azotés réalisés sur les terres de l'exploitation, en plus des informations précédentes, le cahier d'épandage regroupe par parcelle ou îlot culturel les informations suivantes, y compris pour les épandages d'effluents autres que les effluents d'élevage issus de l'exploitation :

- l'objectif de rendement de la culture et le rendement réalisé,
- la date de semis des prairies,
- la quantité totale et la dose d'azote épandue,
- le nombre d'UGB pâturante calculé selon les équivalences définies à l'annexe 1 de l'arrêté du 26 février 2002 susvisé, la durée du pâturage et la superficie pâturée, ces données pouvant être établies globalement à l'échelle de l'exploitation,
- les modalités de gestion de l'interculture (culture intermédiaire pièges à nitrates, gestion des repousses et des résidus de récolte).

Article 7

La liste des indicateurs de risque de pollution lié aux pratiques agricoles comporte au minimum les indicateurs suivants :

- a) La superficie potentiellement épandable, en distinguant la superficie mise à disposition par des tiers.
- b) La quantité d'azote contenue dans les effluents d'élevage définie par le point 2° de l'article 2 du décret du 10 janvier 2001 susvisé, pour chaque exploitation recevant tout ou partie des effluents de l'exploitation.
- c) La quantité d'azote issue des effluents à gérer sur l'exploitation en tenant compte des quantités d'azote maîtrisables produites, importées, exportées ou éliminées par traitement et des quantités d'azote produites en pâture et en plein air.
- d) Le solde de la balance globale de fertilisation azotée avant engrais minéraux et de synthèse exprimé en kilogrammes d'azote par hectare de SAU.

- e) Les apports d'azote provenant des engrais minéraux et de synthèse par hectare de SAU.
- f) Le solde de la balance globale de fertilisation azotée après engrais minéraux exprimé en kilogrammes d'azote par hectare de SAU.
- g) La nature et la superficie des cultures réceptrices des épandages d'effluents d'élevage.
- h) La surface de sols laissés nus pendant les périodes où le risque de lessivage des nitrates est important.
- i) Le rapport entre la surface de sols laissés nus pendant les périodes où le risque de lessivage des nitrates est important et la surface mise en culture annuellement par l'exploitant.
- j) L'adéquation des périodes d'épandage, pour chaque type de fertilisant azoté, sur le plan agronomique et environnemental, selon la culture visée.
- k) La quantité d'azote issu des effluents d'élevage et épandu chez les tiers.

Dans les zones d'action prioritaire arrêtées au titre de l'article 2 de l'arrêté du 26 février 2002 susvisé où la maîtrise des rejets de phosphore provenant des élevages est nécessaire au regard des problèmes d'eutrophisation, des indicateurs spécifiques sont fixés par arrêté préfectoral.

Lors de la remise du dossier de demande d'aide, tous les indicateurs précédents sont renseignés, d'une part, au vu des pratiques observées lors de la réalisation du diagnostic inclus dans l'étude préalable et, d'autre part, au vu des améliorations agronomiques prescrites dans le projet de maîtrise des pollutions pour la période suivant l'achèvement des travaux. Les indicateurs mentionnés aux points e, g, h et k sont également renseignés au vu des améliorations agronomiques prescrites pouvant être mises en œuvre avant la réalisation des travaux.

Préalablement au versement du solde de la subvention, les indicateurs mentionnés aux points e, g, h et k sont renseignés au vu des pratiques effectivement mises en œuvre dans la période comprise entre le dépôt du dossier de demande d'aide et la demande du versement du solde de la subvention.

Article 8

Le non-respect d'un ou plusieurs des articles 3, 4, 5, 6 et 7 rend le projet agronomique irrecevable.

Article 9

Le directeur de l'espace rural et de la forêt, le directeur de l'eau et les préfets sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

ANNEXE 3

**Arrêté du 22 novembre 1993 relatif au Code des
bonnes pratiques agricoles**

Source : aida.ineris

Arrêté du 22 novembre 1993 relatif au Code des bonnes pratiques agricoles (JO du 5 janvier 1994)

Article 1

Le Code national des bonnes pratiques agricoles mentionné à l'article 2 du décret du 27 août 1993 susvisé figure en annexe au présent arrêté.

Article 2

L'arrêté préfectoral prévu par l'article 2 du décret du 27 août 1993 susvisé complétera en tant que de besoin les dispositions de l'annexe au présent arrêté en précisant les mesures qui concernent les activités à caractère local ou en modifiant, lorsqu'il l'est expressément prévu, lesdites dispositions. Dans ce dernier cas, les modifications introduites ne pourront atténuer la portée des dispositions concernées.

Article 3

Le directeur de l'eau, le directeur de l'espace rural et de la forêt et les préfets de département sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Annexe : Code des bonnes pratiques agricoles

Partie I : Considérations générales

Les divers aspects de la maîtrise de la fertilisation azotée constituent l'essentiel du Code des bonnes pratiques agricoles, c'est pourquoi il est nécessaire de préciser certaines notions à ce propos.

1. Terminologie employée

Au sens du Code des bonnes pratiques agricoles, les termes suivants sont ainsi définis :
Composé azoté : toute substance contenant de l'azote, à l'exception de l'azote moléculaire gazeux.
Fertilisant : toute substance contenant un ou des composés azotés, épandue sur les sols afin d'améliorer la croissance de la végétation, y compris les effluents d'élevage, les résidus d'élevage piscicoles et les boues d'épuration.
Engrais chimique : tout fertilisant fabriqué selon un procédé industriel.
Effluent d'élevage : les déjections d'animaux ou un mélange de litière et de déjections d'animaux, même s'ils ont subi une transformation.

2. Types de fertilisants

Tout fertilisant azoté d'origine organique est minéralisé plus ou moins rapidement (présence ou non d'azote minéral, ammonium essentiellement, ou d'azote organique proche de l'azote minéral, urée, acide urique, etc.). Le rapport C/N, rapport existant entre les quantités de carbone et d'azote du fertilisant, est le principal facteur d'évolution. Il peut être plus ou moins élevé et conditionne la vitesse de minéralisation. En effet, le passage de la forme organique à la forme minérale soit ammoniacale, soit nitrique, est fonction du C/N.

Les produits à C/N bas, tels que les déjections sans litière, évoluent rapidement (exemple : nitrification du lisier de porc en trois à cinq semaines), alors que ceux à C/N élevé, tels que les déjections avec litière, sont minéralisés moins rapidement en fonction de la forme des matières carbonées qui peuvent être plus ou moins dégradables et de la nature de la déjection.

Pour le Code des bonnes pratiques agricoles, les fertilisants sont classés en trois types :

- les fertilisants du type I, contenant de l'azote organique et à C/N élevé (supérieur à 8), tels que les déjections avec litière (exemple : fumier).
- les fertilisants du type II, contenant de l'azote organique et à C/N bas (inférieur ou égal à 8), tels que les déjections sans litière (exemple : lisier) et les engrais du commerce d'origine organique animale. Certaines associations de produits comme les déjections associées à des matières carbonées difficilement dégradables (type sciure ou copeaux de bois), malgré un rapport C/N élevé, sont à rattacher au type II.
- les fertilisants minéraux et uréiques de synthèse, classés du type III.

Les boues normalisées, gadoues, composts, eaux résiduaires, etc. figurent dans l'une des deux premières classes précédemment définies, en fonction de leur rapport C/N, éventuellement corrigé selon la forme du carbone. La connaissance du produit à épandre doit être facilitée aux agriculteurs par les fournisseurs.

Partie II : Bonnes pratiques d'épandage et de stockage des fertilisants

1. Périodes pendant lesquelles l'épandage de fertilisants est inapproprié

1.1. Bases du Code

Il convient d'éviter d'épandre des fertilisants au cours des périodes de lessivage sur des sols dont la couverture végétale ne permet pas d'absorber les nitrates fournis par ces fertilisants. Les périodes de lessivage s'étendent surtout de la fin de l'automne au début du printemps, mais l'intensité du lessivage est variable selon la pluviosité et le type de sol. Plusieurs facteurs sont à prendre en considération.

Pour la nature du fertilisant, on se réfère aux trois types de fertilisants définis dans la première partie du présent code. Il faut noter par ailleurs que l'utilisation d'un retardateur de nitrification dans le lisier peut permettre, dans des conditions pédo-climatiques précises, d'avancer les dates d'épandage, en particulier dans le cas de certaines cultures de printemps comme le maïs.

En ce qui concerne les caractéristiques de la période hivernale, quatre grands types de situations climatiques sont déterminés par les régimes thermique (doux ou froid) et hydrique (humide ou sec). Des situations très contrastées sont ainsi rencontrées, comme par exemple les régions à hiver doux et humide, où la minéralisation peut se poursuivre, ou, au contraire, les régions à hiver froid et sec, où la minéralisation est très ralentie, avec bien entendu de nombreuses situations intermédiaires.

La nature et la couverture du sol déterminent l'aptitude du peuplement végétal à prélever des nitrates. On distingue à cet égard :

- les sols non cultivés, surfaces non utilisées en vue d'une production agricole. Les surfaces non cultivées, notamment en application de directives ou règlements communautaires (gel des terres, retraits...), sont incluses dans cette catégorie.
- les grandes cultures (de printemps ou d'automne) installées. On entend par grandes cultures les céréales, les oléagineux, les cultures industrielles (betterave, pomme de terre, lin, chanvre), ainsi que leurs cultures de semence ou de reproduction. Les prairies installées depuis moins de six mois rentrent dans cette catégorie. La période à prendre en compte commence dès la mise en oeuvre du processus cultural, voire quelques jours avant le semis.
- les prairies de plus de six mois non pâturées par les animaux.
- les cultures spéciales de plein air (vignes, vergers, cultures maraîchères et horticoles...) dont la fertilisation est conditionnée, outre la forme du fertilisant, par la situation topographique (plaine ou coteau), par la couverture du sol (nu ou enherbé), par les moyens de lutte contre les gelées de printemps (eau pulvérisée ou chauffage) et pour lesquelles les risques de ruissellement ou d'infiltration sont donc très variables.
- les cultures spéciales sous serre pour lesquelles les modes de conduite dépendent d'itinéraires techniques spécifiques recommandés, mais peu soumis aux aléas climatiques. Dans ces conditions, les fertilisations doivent être réalisées en fonction de critères reconnus habituellement.

1.2. Recommandations du code

Périodes où l'épandage de fertilisants est inapproprié

	Types de fertilisants		
	Type I	Type II	Type III
Sols non cultivés	Toute l'année	Toute l'année	Toute l'année
Grandes cultures d'automne		Du 01/11 au 15/01	Du 01/09 au 15/01
Grandes cultures de printemps	Du 01/07 au 31/08	Du 01/07 au 15/01	Du 01/07 (*) au 15/02
Prairies de plus de six mois non pâturées		Du 15/11 au 15/01	Du 01/10 au 31/01
Cultures spéciales	à préciser localement	à préciser localement	à préciser localement
(*) Du 15/07 au 15/02 pour les cultures irriguées, à préciser localement en fonction de la rubrique 10			

Ces recommandations pourront être adaptées localement en augmentant les périodes par référence au type de fertilisant et au contexte climatique (pluviosité, périodes de démarrage des séquences de drainage) ou en les réduisant - exceptionnellement - pour certaines cultures de printemps à semis précoce ou dans le cadre de l'utilisation de produits homologués contenant des retardateurs de nitrification.

2. Conditions d'épandage des fertilisants sur les sols en forte pente

2.1. Bases du Code

La pente d'une parcelle soumise à l'épandage augmente les risques de ruissellement de fertilisants et de transfert rapide vers les eaux superficielles ou souterraines. Certains facteurs favorisant ce transfert s'imposent à l'agriculteur sans que ce dernier puisse les modifier (exemples : texture du sol, pente), alors que d'autres peuvent être reconsidérés dans le cadre des pratiques agricoles (exemples : amélioration de la structure du sol, couverture végétale).

Un seuil de pente ne peut être défini a priori, les risques de ruissellement dépendant de la nature et du sens d'implantation de la couverture végétale, de la nature du sol, de la forme de la parcelle, du type et du sens du travail du sol, de la nature et de la forme du fertilisant, du climat. Par ailleurs, le ruissellement ne se produit pas de la même façon selon que la pente est régulière ou non.

Nature de la couverture végétale. Les épandages sur sols nus ou peu couverts présentent des risques élevés. Lorsque l'épandage est nécessaire sur sols nus pour des raisons de production agricole, il convient alors de privilégier l'incorporation des fertilisants. De manière générale, le couvert végétal diminue les risques de ruissellement de façon sensible. En ce qui concerne les cultures pérennes en ligne (exemples : vergers et vignes), la pratique de l'enherbement est favorable pour limiter les risques de ruissellement.

Nature du sol. Le ruissellement peut être favorisé sur des sols à texture fine (type argileux ou argilo-limoneux). Inversement, les sols très filtrants (type sableux) le limitent. Cet élément s'impose à l'agriculteur, qui ne peut qu'en tenir compte le mieux possible. Une structure défavorable (battance, tassement) favorise le ruissellement, une bonne structure le limite. L'agriculteur peut améliorer la structure du sol en aménageant certaines pratiques culturales (exemples : travail du sol, gestion de la matière organique, rotations, matériel adapté, etc.). Le ruissellement peut enfin être conditionné par la présence dans le profil cultural d'un niveau ou d'une couche moins perméable, qu'elle soit très superficielle (exemple : croûte de battance) ou plus profonde (exemple : semelle de labour).

La forme de la parcelle peut avoir une influence sur le ruissellement. Le travail du sol peut être réalisé de façon à limiter les ruissellements de fertilisants liquides (synthèse, lisiers et purins) et de particules de fertilisants solides (synthèse, fumier). Les pratiques culturales qui favorisent la rétention de l'eau tout en évitant sa concentration, notamment le sens du travail du sol, sont recommandées.

Nature et forme du fertilisant. Les risques d'entraînement sur sols en pente sont plus forts pour les formes liquides (engrais liquides, purins, lisiers) et moindres pour les formes solides (engrais solides, fumiers), mais ces dernières peuvent induire le ruissellement de solutions azotées ou de jus. Sur sol nu, en forte pente, l'enfouissement des fertilisants est souhaitable.

Climat. Les épandages aux périodes où la pluviosité est élevée augmentent les risques de ruissellement (cf. rubrique 3).

2.2. Recommandations du code

Il est recommandé de réaliser l'épandage des fertilisants sur les sols en forte pente de telle sorte que le ruissellement en dehors du champ d'épandage soit supprimé, notamment en prenant en compte les paramètres les plus appropriés, relatifs à la nature et au sens d'implantation de la couverture du sol, à la forme de la parcelle, à la nature et au travail du sol, à la nature du fertilisant, aux périodes d'épandage possibles.

Il est recommandé de ne pas utiliser certains matériels d'épandage comme par exemple les canons asperseurs à haute pression (supérieure à 3 bars au bec), pour les fertilisants liquides. Il conviendra de préciser ces recommandations chaque fois que ce sera possible, en tenant compte du contexte local.

Il est recommandé de maintenir certaines haies et talus ainsi que les bas de pente en herbe.

3. Conditions d'épandage des fertilisants sur les sols détrempés, inondés, gelés ou couverts de neige

3.1. Bases du Code

Il s'agit d'éviter les épandages de fertilisants dans des conditions climatiques aggravant ultérieurement l'infiltration ou le ruissellement en tenant compte notamment des types de fertilisants et des situations découlant des conditions climatiques.

Sur les sols gelés uniquement en surface, alternant gel et dégel en vingt-quatre heures, les épandages sont possibles quelle que soit la nature du fertilisant.

Les sols pris en masse par le gel présentent des risques de ruissellement en cas de précipitations ou lors du dégel. Néanmoins, le risque s'apprécie en fonction de la fréquence et de la durée de la période de gel. A ce titre, les épandages de fertilisants de types I et III sont à la rigueur possibles.

Sur les sols inondés ou détrempés, les épandages sont déconseillés en raison des risques importants d'infiltration et de ruissellement. Par ailleurs, ils sont rarement justifiés sur le plan agronomique du fait de l'incapacité de la plante à absorber l'azote dans ces conditions. Quelques cultures au contraire exigent des sols inondés (riz ou cresson, par exemple).

Sur sols enneigés, les risques de ruissellement sont importants à la fonte des neiges. C'est pourquoi les épandages de fertilisants de types II et III sont déconseillés. Pour ce qui concerne les fertilisants de type I, se reporter à ce qui a été précisé pour les sols pris en masse par le gel.

3.2. Recommandations du Code

Le tableau suivant précise dans quelles conditions les épandages de fertilisants sont possibles sur les sols gelés, inondés, détrempés ou enneigés. La nature du sol et notamment sa pente doivent être pris en considération.

	Sol gelé en surface (alternant gel et dégel en 24h)	Sol pris en masse par le gel	Sol inondé ou détrempé *	Sol enneigé
Fertilisant de type I	Possible	A la rigueur possible **	Déconseillé	A la rigueur possible **
Fertilisant de type II	Possible	Déconseillé	Déconseillé	Déconseillé
Fertilisant de type III	Possible	A la rigueur possible **	Déconseillé	Déconseillé
* Sauf cultures en milieu aquatique (exemples: rizières, cressoïnnières)				
** Le choix sera précisé en fonction du climat, de la fréquence et de la durée des conditions climatiques en question, ainsi que de la nature du sol et de sa pente				

4. Conditions d'épandage des fertilisants près des eaux de surface

4.1. Bases du Code

On doit éviter lors de l'épandage que les eaux de surface ne soient atteintes immédiatement ou dans un délai très court, par projection ou par ruissellement de fertilisants en l'état. La pollution indirecte des eaux par infiltration et écoulement souterrain n'est donc pas prise en compte ici. On distingue différents facteurs de risque.

La nature de la berge. La topographie et la végétation peuvent, selon les cas, favoriser ou limiter les projections ou les ruissellements : présence ou non de talus (hauteur, distance à la berge, etc.), pente plus ou moins accentuée de la berge, présence ou absence de végétation et sa nature.

Dans le cas particulier des zones inondables, on doit considérer les berges inondables des cours d'eau (prise en compte du lit majeur), celles des cours d'eau côtiers soumis au régime des marées.

La nature et la forme du fertilisant. Les risques d'entraînement par projection ou ruissellement peuvent être d'autant plus importants que les fertilisants se présentent sous forme d'éléments fins (exemples : gouttelettes d'engrais liquide, granulés d'engrais de synthèse de faible masse) et que les conditions climatiques sont favorables (vent, pluie).

Le matériel d'épandage. Certains matériels d'épandage peuvent favoriser les projections (épandeur centrifuge, épandeur de fumier, canons asperseurs), d'autres le ruissellement en cas de rupture d'avancement (rampe pour engrais liquide, tonne à lisier); il convient d'en tenir compte. Par ailleurs, le réglage du matériel ainsi que le jalonnement des parcelles peuvent s'avérer déterminants pour assurer la précision de l'épandage.

Cas des élevages au pâturage. Le pâturage en bord de cours d'eau ne semble pas induire des risques importants de projection ou de ruissellement. L'abreuvement concentré des animaux directement dans les cours d'eau est à éviter dans la mesure du possible.

4.2. Recommandations du Code

Il est recommandé d'épandre les fertilisants en respectant des distances minimales par rapport aux eaux de surface et en prenant en compte les conditions atmosphériques au moment de l'épandage (vent), les conditions d'épandage (enfouissement), la nature de la couverture végétale du sol. Pour les effluents d'élevage, conformément à la réglementation en vigueur, cette distance est de 35 mètres. Pour les fertilisants de type III et les fertilisants de type I ou II non soumis à la réglementation précédente, elle est de 2 mètres. La fertilisation des étangs n'est pas concernée par cette mesure.

Il est recommandé de maintenir les berges et abords enherbés.

5. Capacité et mode de construction des ouvrages de stockage des effluents d'élevage

5.1. Bases du Code

Il convient d'éviter les rejets directs dans le milieu naturel de liquides contenant des déjections animales ou des effluents d'origine végétale à partir des bâtiments d'élevage et de leurs annexes, de façon à éviter la pollution des eaux par ruissellement et infiltration dans le sol ou écoulement vers les eaux de surface. Trois points sont à considérer.

L'évaluation des volumes à stocker :

- cas des déjections : le volume de stockage devrait permettre de contenir au minimum les effluents d'élevage produits pendant la période où l'épandage est inapproprié (cf. rubrique I) et, si la fosse n'est pas couverte, les eaux pluviales (cela s'applique aux déjections liquides et aux eaux souillées éventuelles). Cependant, pour une période donnée, ce volume varie en fonction de nombreux paramètres : type d'animaux, mode d'alimentation, conduite de l'élevage, etc. Il est donc nécessaire de bien évaluer les quantités produites. Une marge de sécurité peut être prise pour éviter d'éventuels débordements.

- cas des eaux souillées (lavage, fuites d'abreuvoirs, déjections diluées) : pour éviter la manipulation de volumes très importants, la production de ces rejets doit être limitée au minimum. Ils sont de préférence dirigés vers des installations de traitement adaptées (filtration, décantation, fosses, lagunes, etc.). S'il n'y a pas de traitement, ils sont collectés dans un ouvrage de stockage qui leur est propre ou, à défaut, dans celui des déjections. Il faut éviter leur rejet direct dans le milieu naturel.

La qualité de la collecte : il convient de contrôler, sur l'ensemble de l'exploitation, la collecte des effluents d'origine animale (déjections liquides ou solides, eaux souillées) et des jus d'ensilage. A cet effet, les aires d'exercice et d'attente et leurs réseaux d'évacuation doivent être étanches, la dilution (par les eaux pluviales ou les eaux de lavage) doit être évitée (aménagement des toitures). Les eaux pluviales non souillées peuvent être évacuées directement dans le milieu naturel.

La qualité du stockage : dans tous les cas, les ouvrages de stockage doivent être étanches de façon à éviter tout rejet direct dans le milieu naturel. Le lieu d'implantation ainsi que le choix du type de stockage dépendent de nombreux facteurs (relief du terrain, nature du sol, conditions climatiques, etc.). Les fosses de stockage des produits liquides doivent être étanches. Les ouvrages de stockage des fumiers et ensilages doivent avoir un point bas de collecte des liquides d'égouttage (purins, jus d'ensilage) qui peuvent être ensuite dirigés vers l'ouvrage de stockage des liquides.

Cas particuliers des animaux à l'extérieur : on évitera de laisser séjourner les animaux en densité importante sur des surfaces non étanches. En période d'hivernage extérieur, il est souhaitable de déplacer régulièrement l'aire d'affouragement au pré. Si l'affouragement est réalisé en permanence au même endroit, le sol doit y être stabilisé.

5.2. Recommandations du Code

Dans la mesure du possible et là où c'est nécessaire, il est recommandé que toutes les aires d'attente et d'exercice, notamment extérieures, accessibles aux animaux et toutes les installations d'évacuation ou de stockage de l'élevage soient maintenues imperméables. La pente des sols des installations où séjournent les animaux doit permettre l'écoulement des effluents qui sont évacués vers les ouvrages de stockage.

Il est recommandé de collecter les eaux de nettoyage par un réseau étanche et de les diriger vers des installations de stockage (spécifiques si possible) ou de traitement des effluents.

Les ouvrages de stockage doivent être étanches. Il est recommandé de stocker les déjections solides sur une aire étanche munie d'un point bas de façon à collecter les liquides d'égouttage et à les évacuer vers les installations de stockage ou de traitement des effluents. Outre le respect de la réglementation, il est recommandé de disposer au minimum d'une capacité de stockage suffisante pour couvrir les périodes où l'épandage est inapproprié (cf. rubrique I). Cela sera précisé localement.

Il est recommandé de collecter séparément les eaux pluviales des toitures et de les évacuer directement dans le milieu naturel.

6. Modes d'épandage des fertilisants

6.1. Bases du Code

Pour contrôler au mieux la fuite d'éléments nutritifs vers les eaux, il faut mettre l'accent sur les doses à épandre et sur l'uniformité de l'épandage.

Dose à épandre. La détermination soignée de la dose à épandre sur une parcelle, en prévision des besoins de la culture, contribue à éviter la situation de surfertilisation et par conséquent le risque de fuite qu'elle comporte. Pour ce faire, il convient d'assurer l'équilibre entre les besoins des cultures et les fournitures par le sol et par la fertilisation. Le risque de surfertilisation peut découler de :

- la surestimation du rendement escompté. Il convient de bien évaluer les objectifs de rendement à la parcelle, compte tenu des potentialités du milieu et du mode de conduite de chaque parcelle. Cela permet de préciser les besoins en azote pour une culture donnée.
- la sous-estimation des fournitures d'azote par le sol. Il faut évaluer au mieux ces fournitures qui varient selon le climat et les antécédents culturels de la parcelle.
- la sous-estimation des quantités d'azote contenues dans les effluents d'élevage. Il faut prendre en compte les deux paramètres indissociables que sont la quantité à épandre et la valeur fertilisante. Une bonne connaissance des apports fertilisants des effluents d'élevage est nécessaire pour les valoriser au mieux.

Uniformité. L'irrégularité de l'épandage peut également induire une surfertilisation. Il est utile d'homogénéiser les effluents d'élevage du type lisier, les boues et les gadoues par brassage avant épandage. Cela aide à contrôler la dose à épandre. Le bon réglage du matériel d'épandage permet de mieux maîtriser la régularité de l'épandage et donc de lutter contre la surfertilisation.

6.2. Recommandations du code

Il est recommandé d'équilibrer les besoins prévisibles de la culture, compte tenu des potentialités de la parcelle et du mode de conduite de la culture, et les fournitures d'azote par le sol et la fertilisation, comprenant les quantités d'azote présentes dans le sol au moment où la culture commence à les utiliser de façon importante, la fourniture d'azote par la minéralisation des réserves du sol pendant le développement de la culture, les apports par les déjections animales et les engrais chimiques.

Il est recommandé de fractionner les apports, si nécessaire, afin de répondre au mieux aux besoins des cultures en fonction de leurs différents stades et, d'autre part, de réviser éventuellement les doses à la baisse si l'objectif de production retenu ne peut être atteint en raison de l'état de la culture (aléas climatiques, attaques de maladies, de ravageurs, etc.).

Il est recommandé de veiller à l'uniformité de l'épandage de la dose déterminée, en assurant l'homogénéité du produit épandu et en contrôlant le réglage du matériel utilisé.

En cas d'apports de déjections animales pendant plusieurs années, on ne prendra en compte que la fourniture de l'année considérée.

Partie III : Bonnes pratiques de gestion des terres et de l'irrigation

1. Gestion des terres, couverture végétale du sol

1.1. Bases du code

Tout système laissant le sol nu en hiver constitue un facteur de risque important. Des modifications des pratiques peuvent s'envisager pour y remédier avec en corollaire des contraintes économiques pour l'agriculteur.

On gère l'assolement à l'exploitation et la succession des cultures dans la rotation. La combinaison des deux devrait permettre de limiter la surface nue en hiver. C'est dans le contexte global de gestion des terres, à l'échelle de l'exploitation comme à celle de la parcelle, que doit être appréhendé le risque de pollution des eaux par les nitrates provenant des terres de l'exploitation. Cette pollution est liée à la présence d'azote sous des formes minérales ou organiques susceptible d'être lessivées et entraînées par ruissellement et infiltration vers les eaux superficielles ou souterraines.

Pour une production donnée, différents itinéraires techniques sont envisageables. Il s'agit de préciser ceux qui permettent de limiter le risque de pollution des eaux par les nitrates. A cet égard, l'application d'une fertilisation raisonnée est essentielle (cf. rubrique 6). Pour les autres techniques, il convient d'adopter des pratiques spécifiques à la culture, au contexte pédo-climatique, etc. Il n'y a pas dans ce domaine de recommandation de portée générale à mettre en avant dans l'état actuel des connaissances.

La gestion d'une culture dans un système de cultures et dans un contexte pédo-climatique donnés peut être plus ou moins source de pollution, selon la longueur de l'interculture qui la précède ou de celle qui la suit et la nature et l'importance des reliquats qu'elle laisse après récolte.

Il convient de souligner la difficulté de déterminer des bonnes pratiques au niveau national, dans la mesure où l'on doit se rapprocher le plus possible du contexte dans lequel se situe l'agriculteur.

2.2. Recommandations du code

Il est recommandé, chaque fois que cela est possible :

- pour les systèmes de cultures annuelles, d'améliorer l'ordre de succession des cultures de façon à réduire la surface de sol nu pendant les périodes présentant un risque de lessivage, d'augmenter, dans l'assolement, la proportion de cultures d'hiver par rapport à celle de cultures de printemps, d'installer des cultures intermédiaires pièges à nitrates (1).
- pour les cultures pérennes de type vigne ou verger, d'installer une culture intercalaire (2).
- pour les prairies, d'installer rapidement des cultures exigeantes en azote après un retournement (en particulier d'une prairie de longue durée) et, les années suivantes, d'installer rapidement une culture exigeante en azote après une légumineuse. Dans le cas où la mise en culture ne se fait pas rapidement, il convient d'adopter des techniques tendant à limiter la minéralisation des résidus de récolte.
- de maintenir en herbe les bas de pente, fonds de vallons et bords de cours d'eau, de maintenir les arbres, haies et zones boisées en bordure de cours d'eau, de mettre en oeuvre dans le bassin versant des moyens de lutte contre l'érosion des sols par la combinaison de techniques culturales (labour en travers de la pente, cultures intermédiaires) et d'aménagement (haies, talus, chenaux enherbés).

Les recommandations ci-dessus pourront être adaptées localement, particulièrement en ce qui concerne le choix des cultures et leur succession, la proportion des cultures d'hiver par rapport à celles de printemps, l'installation de cultures intermédiaires et la gestion des résidus de récolte.

(1) Cultures colonisant le sol de façon à éviter les fuites de nitrates pendant la période pluvieuse hivernale, derrière les cultures laissant le sol nu et riche en azote minéral pendant de longues périodes pluvieuses

(2) Culture installée entre les rangs de vigne ou d'arbres permanente ou temporaire

2. Elaboration de plans de fumure et tenue de cahiers d'épandage

2.1. Bases du Code

Le raisonnement moyen de la fertilisation à l'exploitation n'est pas totalement satisfaisant car il ne prend pas en compte la diversité des situations (types de sols, de cultures, etc.) parcelle par parcelle. L'élaboration de plans de fumure par parcelle et la tenue de cahiers d'épandage des fertilisants sur chaque exploitation constituent des moyens permettant d'aider l'agriculteur à mieux gérer sa fertilisation azotée. Ces outils doivent être conçus de façon à permettre à l'exploitation agricole de prévoir et de suivre l'évolution de sa fertilisation azotée et, par là, à favoriser le bon usage des fertilisants.

2.2. Recommandations du Code

Il est recommandé à toutes les exploitations agricoles de réaliser des plans de fumure prévisionnels à la parcelle et de tenir un cahier d'épandage des fertilisants. Y seront précisés la nature des cultures, les dates d'épandage, les volumes et quantités utilisés d'azote de toutes origines (déjections, boues, gadoues ou composts produits ou introduits sur l'exploitation, engrais azotés achetés). L'enregistrement des rendements facilitera l'élaboration des plans de fumure et l'établissement des bilans d'azote.

3. Gestion de l'irrigation

3.1. Bases du Code

La question essentielle est celle du bon usage de l'eau tant pour assurer la production agricole que pour éviter la pollution. La pratique de l'irrigation, facteur de régularisation de la production végétale, présente certains risques qu'il convient de maîtriser. Elle exige elle-même une bonne maîtrise de la fertilisation. En effet, tout apport d'eau excessif, évacué hors du système racinaire, entraîne les nitrates dissous au passage soit vers les eaux de surface par ruissellement, soit vers les eaux souterraines par infiltration.

Risques liés aux apports d'eau excessifs :

Le ruissellement constitue un risque en particulier lorsque le sol est saturé d'eau ou lorsqu'il est très sec. La vitesse à laquelle l'eau s'infiltré dans le sol (infiltration superficielle) est fonction de la texture de celui-ci, mais aussi de sa structure. Elle décroît lorsque l'humidité du sol augmente.

Les risques de percolation sont induits par des apports d'eau supérieurs à la capacité de stockage disponible dans la partie de sol prospectée par le système racinaire. La dose d'eau à apporter dépend de la capacité totale des réserves du sol et du taux de remplissage initial de ces réserves au moment de l'irrigation. L'évaluation de ces deux quantités se fait souvent par calcul du bilan hydrique à partir de données météorologiques (pluie, ETP) et de l'évolution des réserves du sol qui en résulte. Ces évaluations sont souvent entachées d'erreurs du fait de la difficulté d'apprécier les deux termes fondamentaux du bilan : capacité des réserves facilement utilisables du sol et consommation en eau réelle des plantes. De plus, il faut tenir compte de l'évolution de la capacité de réserve utile du sol avec celle de la profondeur racinaire. Cela conduit à ajuster les doses d'irrigation au fur et à mesure que croît la profondeur de l'enracinement de la culture.

La surirrigation est souvent induite au printemps alors que les sols bénéficient encore d'une partie de l'humidité acquise pendant l'hiver. Cela accroît les risques de pollution car les fertilisants ne sont que très partiellement mobilisés par la végétation. Un tensiomètre placé à la base de la tranche de sol occupée par les racines, en indiquant le moment où la tension de l'eau décroît, est un moyen efficace d'aide à la décision d'irriguer. Des risques particuliers d'infiltration existent dans les sols fissurés et les petites terres.

Risques liés aux méthodes et systèmes d'irrigation à la parcelle :

L'irrigation de surface à la raie ou par planche est un procédé gravitaire ancien. Elle induit une hétérogénéité de la quantité d'eau apportée et en rend le contrôle difficile.

L'irrigation par aspersion est le système le plus développé actuellement. Elle se pratique grâce à un réseau sous pression et à des matériels d'aspersion variés, fixes ou mobiles, dont notamment les rampes d'aspersion fixes et les asperseurs mobiles (couverture totale), les rampes et asperseurs fixes (couverture intégrale), les rampes pivotantes ou frontales, les canons asperseurs, dont l'emploi induit des risques d'hétérogénéité des apports d'eau (apports excessifs et insuffisants en même temps) et de ruissellement.

L'irrigation localisée se caractérise par des apports d'eau à proximité des cultures avec des débits et des doses faibles et des fréquences de fonctionnement élevées, au moyen de goûteurs ou de mini-diffuseurs.

Risques liés aux apports d'engrais : si l'irrigation est bien conduite, la mobilisation de la fumure par les cultures peut être plus régulière en cultures irriguées qu'en cultures sèches. Il faut néanmoins pour cela que le mode d'apport et la forme des fertilisants apportés soient bien adaptés au type d'irrigation. Le fractionnement des apports de fertilisants permet de limiter les lessivages éventuels et d'ajuster les apports au cours du cycle. Ce fractionnement est d'autant plus facile que le fertilisant est apporté par le système d'irrigation lui-même.

3.2. Recommandations du code

Il convient de combiner au mieux les apports d'eau et de fertilisants.

En ce qui concerne les apports d'eau, il est recommandé :

- de suivre les conseils et avertissements diffusés localement et de respecter les préconisations des constructeurs de matériels.
- que l'intensité des apports soit inférieure à la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol, afin d'éviter les ruissellements. Pour une humidité donnée, l'infiltration peut être améliorée par les travaux du sol qui rompent la compacité, les croûtes de battance, etc...
- que les volumes ou doses d'eau apportés à chaque irrigation soient légèrement inférieurs à la capacité de stockage disponible dans la partie du sol prospectée par le système racinaire, afin d'éviter les percolations.
- de n'effectuer la première irrigation que lorsque la réserve en eau de la tranche de sol occupée par les racines est largement entamée. Le même raisonnement doit être effectué pour chacun des autres apports.
- de pratiquer avec précaution les irrigations pas aspersion à forte pluviométrie et à grosses gouttes (à préciser localement), d'éviter les arrosages par grand vent et de limiter au maximum l'hétérogénéité de l'aspersion en respectant les préconisations formulées pour les matériels employés.
- en irrigation de surface, de limiter les pertes (pertes en collature, percolation) grâce au bon nivellement de la parcelle, à une bonne confection des planches ou des raies, à une distribution homogène de l'eau en tête de parcelle et à un choix optimal du débit en tête et de la durée d'arrosage.
- en irrigation localisée, de fractionner et de multiplier les apports pour éviter la formation de flaques.

En ce qui concerne la fertilisation, il est recommandé :

- de choisir des formes de fertilisants et des modes d'apports adaptés au type d'irrigation. Compte tenu des risques spécifiques à l'irrigation, il est tout particulièrement recommandé de fractionner l'apport de

fertilisant. Toutefois, si le fractionnement est impossible, on choisira des formes compatibles avec les apports d'eau;

- d'éviter les apports de fertilisants sur l'ensemble de la surface et de préférer les systèmes d'apports localisés des fertilisants avec l'eau d'irrigation (irrigation fertilisante). Il faut veiller à ce que la durée d'injection soit inférieure à la durée du poste d'arrosage.

L'apport de fertilisant par aspersion, s'il est bien conduit, est très positif, mais nécessite une bonne maîtrise de la technique d'irrigation, notamment pour assurer l'homogénéité de l'apport qui limite les risques de sousdosage et surdosage.

L'ensemble de ces recommandations s'applique tout particulièrement aux cultures maraîchères et florales, compte tenu des pratiques actuelles de surfertilisation et de surirrigation.

ANNEXE 4

Débits mesurés par les stations hydrométriques

Source : Banque Hydro

Débits pour les années 1999, 2000 et 2001

La Taude (TAD1)	
Mois	Qmoyen (m3/s)
Année 1999	
J	1,000
F	0,521
M	0,359
A	0,464
M	0,259
J	0,139
J	0,056
A	0,055
S	0,153
O	0,436
N	0,470
D	1,810
Année 2000	
J	0,761
F	0,697
M	0,455
A	0,331
M	0,307
J	0,139
J	0,101
A	0,067
S	0,078
O	0,276
N	1,230
D	1,320
Année 2001	
J	1,910
F	1,110
M	1,990
A	0,709
M	0,884
J	0,144
J	0,128
A	0,075
S	0,055
O	0,071
N	0,056
D	0,141

L'Erve (ERV1)	
Mois	Qmoyen (m3/s)
Année 1999	
J	1,710
F	1,160
M	0,934
A	0,988
M	0,566
J	0,433
J	0,270
A	0,278
S	0,424
O	0,714
N	0,661
D	2,170
Année 2000	
J	1,220
F	1,260
M	0,953
A	0,701
M	0,744
J	0,443
J	0,428
A	0,303
S	0,287
O	0,744
N	2,000
D	1,940
Année 2001	
J	2,060
F	1,560
M	2,200
A	1,320
M	0,846
J	0,511
J	0,470
A	0,347
S	0,326
O	0,349
N	0,336
D	0,431

La Vaudelle (VAU2)	
Mois	Qmoyen (m3/s)
Année 1999	
J	3,480
F	1,740
M	1,400
A	1,180
M	0,872
J	0,540
J	0,294
A	0,309
S	0,447
O	0,941
N	1,100
D	4,120
Année 2000	
J	2,220
F	2,010
M	2,090
A	2,010
M	1,850
J	0,794
J	0,951
A	0,265
S	0,248
O	1,140
N	3,840
D	3,900
Année 2001	
J	4,440
F	2,870
M	3,750
A	1,800
M	0,778
J	0,622
J	0,463
A	0,356
S	0,289
O	0,222
N	0,326
D	0,414

Source : Banque Hydro

ANNEXE 5

Concentrations en éléments azotés mesurées sur la Taude, la Vaudelle et l'Erve

Source : Agence de l'eau Loire-Bretagne

Concentrations pour les années 1999, 2000 et 2001

L'Erve (ERV1)				
Mois	[NH4] (mg/l)	[NK] (mg/l)	[NO2] (mg/l)	[NO3] (mg/l)
Année 1999				
J	0,10	0,69	0,12	31,5
F	0,12	0,50	0,11	33,0
M	0,09	0,30	0,15	28,9
A	0,07	0,50	0,11	27,5
M	0,07	0,50	0,11	27,5
J	0,02	0,60	0,14	24,7
J	0,03	0,50	0,14	25,0
A	0,03	0,50	0,11	23,0
S	0,01	0,50	0,05	21,0
O	0,05	1,00	0,18	25,0
N	0,02	1,00	0,01	19,7
D	0,09	0,60	0,12	22,0
Année 2000				
J	0,10	0,50	0,11	29,0
F	0,27	1,10	0,17	28,0
A	0,05	0,50	0,07	28,0
M	0,07	0,50	0,11	26,0
J	0,10	0,60	0,27	24,0
A	0,02	0,50	0,09	23,0
S	0,01	0,50	0,09	22,0
O	0,01	0,50	0,15	22,0
D	0,07	0,69	0,12	21,0
Année 2001				
J	0,15	0,69	0,10	27,0
F	0,12	0,50	0,07	31,0
A	0,10	0,69	0,09	23,0
M	0,07	0,47	0,10	27,0
J	0,03	0,47	0,15	23,0
A	0,02	0,47	0,10	24,0
S	0,02	0,47	0,07	22,0
O	0,07	0,47	0,17	22,0
D	0,10	0,50	0,10	24,0

La Vaudelle (VAU2)				
Mois	[NH4] (mg/l)	[NK] (mg/l)	[NO2] (mg/l)	[NO3] (mg/l)
Année 1999				
J	0,05	0,50	0,05	66,0
F	0,10	0,50	0,07	62,0
M	0,05	0,40	0,05	64,0
A	0,02	0,50	0,07	56,0
M	0,04	0,69	0,10	61,0
J	0,25	0,69	0,10	56,0
J	0,05	1,10	0,10	55,0
A	0,05	0,69	0,05	49,0
S	0,05	1,00	0,10	38,0
O	0,02	0,47	0,02	49,0
N	0,03	1,00	0,01	54,5
D	0,10	0,80	0,05	58,5
Année 2000				
J	0,05	0,50	0,07	59,0
F	0,09	0,89	0,07	57,0
M	0,05	0,60	0,07	57,0
A	0,10	0,60	0,07	51,0
M	0,07	3,50	0,14	46,0
J	0,05	0,89	0,14	53,0
J	0,03	0,50	0,07	50,0
A	0,07	0,60	0,10	50,0
S	0,01	0,50	0,05	51,0
O	0,05	0,89	0,12	43,0
N	0,07	0,80	0,07	48,0
D	0,05	0,69	0,09	47,0
Année 2001				
J	0,05	0,50	0,05	57,0
F	0,02	0,50	0,05	54,0
M	0,21	1,70	0,05	32,0
A	0,02	0,47	0,05	50,0
M	0,02	0,50	0,07	48,0
J	0,07	1,00	0,11	41,0
J	0,03	0,50	0,07	44,0
A	0,02	0,50	0,05	49,0
S	0,02	0,50	0,05	50,0
O	0,02	0,89	0,07	40,0
N	0,03	0,50	0,05	45,0
D	0,05	0,50	0,05	47,0

La Taude (TAD1)				
Mois	[NH4] (mg/l)	[NK] (mg/l)	[NO2] (mg/l)	[NO3] (mg/l)
Année 1999				
J	0,10	0,80	0,16	39,0
F	0,09	0,50	0,10	42,0
M	0,05	0,70	0,08	38,0
A	0,05	0,50	0,27	35,5
M	0,08	0,80	0,23	37,0
J	0,07	0,60	0,27	36,5
J	0,05	0,50	0,15	45,0
A	0,05	0,50	0,13	51,5
S	0,07	0,50	0,14	48,5
O	0,03	1,00	0,19	35,0
N	0,10	0,80	0,17	28,5
D	0,09	0,48	0,20	30,0
Année 2000				
J	0,12	0,90	0,10	29,0
F	0,09	0,50	0,12	41,0
M	0,26	1,30	0,11	25,0
A	0,06	0,60	0,18	34,0
M	0,05	0,60	0,21	31,0
J	0,53	1,50	0,29	30,0
J	0,02	0,50	0,17	48,0
A	0,07	0,50	0,13	41,0
S	0,22	0,50	0,22	44,0
O	0,19	0,90	0,20	33,0
N	0,15	3,30	0,13	26,0
D	0,12	1,10	0,11	27,0
Année 2001				
J	0,11	0,90	0,08	25,0
F	0,16	1,20	0,07	16,0
M	0,07	0,50	0,07	31,0
A	0,06	0,60	0,11	30,0
M	0,12	1,20	0,08	15,0
J	0,02	0,48	0,10	46,0
J	0,08	0,48	0,30	44,0
A	0,08	0,48	0,53	44,0
S	0,02	0,48	0,10	47,0
O	0,04	0,50	0,14	40,0
N	0,03	0,50	0,15	35,0
D	0,06	1,40	0,10	11,0

Source : Agence de l'eau Loire-Bretagne

ANNEXE 6

**Calcul des flux de N.NO₃, N.NO₂ et de NK pour
les bassins versants ERV1, TAD1 et VAU2**

Mois	Qmoyen station (m3/s)	Qmoyen ERV1 (m3/s)	Cmoyenne NO3 (mg/l)	Flux NO3 (g/s)	Flux NO3 (T/mois)	Flux N.NO3 (T/mois)	Cmoyenne NO2 (mg/l)	Flux NO2 (g/s)	Flux NO2 (T/mois)	Flux N.NO2 (T/mois)	Cmoyenne NK (mg/l)	Flux NK (g/s)	Flux NK (T/mois)	Bassin versant ERV1	
Année 1999															
Janvier	1,71	1,70	31,50	53,52	138,73	31,33	0,12	3,76	9,74	2,97	0,69	2,05	5,30		
Février	1,16	1,15	33,00	38,04	98,59	22,26	0,11	2,45	6,35	1,93	0,50	0,97	2,50		
Mars	0,93	0,93	28,89	26,81	69,50	15,69	0,15	2,35	6,10	1,86	0,30	0,56	1,44		
Avril	0,99	0,98	27,50	27,00	69,98	15,80	0,11	1,74	4,51	1,37	0,50	0,69	1,78		
Mai	0,57	0,56	27,50	15,47	40,09	9,05	0,11	1,00	2,58	0,79	0,50	0,39	1,02		
Juin	0,43	0,43	24,70	10,63	27,55	6,22	0,14	0,87	2,26	0,69	0,60	0,41	1,07		
Juillet	0,27	0,27	25,00	6,71	17,38	3,93	0,14	0,55	1,42	0,43	0,50	0,22	0,56		
Août	0,28	0,28	23,00	6,35	16,47	3,72	0,11	0,41	1,06	0,32	0,50	0,16	0,42		
Septembre	0,42	0,42	21,00	8,85	22,93	5,18	0,05	0,26	0,67	0,20	0,50	0,10	0,26		
Octobre	0,71	0,71	25,00	17,74	45,97	10,38	0,18	1,87	4,84	1,47	1,00	1,47	3,82		
Novembre	0,66	0,66	19,70	12,94	33,54	7,57	0,01	0,08	0,20	0,06	1,00	0,06	0,15		
Décembre	2,17	2,16	22,00	47,44	122,96	27,76	0,12	3,33	8,64	2,63	0,60	1,58	4,09		
Année 2000															
Janvier	1,22	1,21	29,00	35,16	91,12	20,58	0,11	2,26	5,87	1,79	0,50	0,89	2,31		
Février	1,26	1,25	28,00	35,06	90,87	20,52	0,17	3,49	9,04	2,75	1,10	3,03	7,85		
Avril	0,70	0,70	28,00	19,50	50,55	11,42	0,07	0,80	2,07	0,63	0,50	0,32	0,82		
Mai	0,74	0,74	26,00	19,22	49,82	11,25	0,11	1,24	3,21	0,98	0,50	0,49	1,27		
Juillet	0,43	0,43	24,00	10,21	26,46	5,97	0,27	1,61	4,18	1,27	0,60	0,76	1,98		
Août	0,30	0,30	23,00	6,92	17,95	4,05	0,09	0,36	0,95	0,29	0,50	0,14	0,37		
Septembre	0,29	0,29	22,00	6,27	16,26	3,67	0,09	0,33	0,86	0,26	0,50	0,13	0,34		
Octobre	0,74	0,74	22,00	16,26	42,16	9,52	0,15	1,43	3,70	1,13	0,50	0,56	1,46		
Décembre	1,94	1,93	21,00	40,48	104,93	23,69	0,12	2,84	7,37	2,24	0,69	1,55	4,01		
Année 2001															
Janvier	2,06	2,05	27,00	55,27	143,25	32,35	0,10	3,23	8,38	2,55	0,69	1,76	4,56		
Février	1,56	1,55	31,00	48,05	124,55	28,12	0,07	1,97	5,10	1,55	0,50	0,78	2,01		
Avril	1,32	1,31	23,00	30,17	78,19	17,66	0,09	1,59	4,12	1,25	0,69	0,86	2,24		
Mai	0,85	0,84	27,00	22,70	58,83	13,28	0,10	1,33	3,44	1,05	0,47	0,49	1,28		
Juillet	0,47	0,47	23,00	10,74	27,84	6,29	0,15	0,94	2,44	0,74	0,47	0,35	0,91		
Août	0,35	0,34	24,00	8,28	21,45	4,84	0,10	0,48	1,26	0,38	0,47	0,18	0,47		
Septembre	0,33	0,32	22,00	7,13	18,47	4,17	0,07	0,29	0,76	0,23	0,47	0,11	0,28		
Octobre	0,35	0,35	22,00	7,63	19,78	4,47	0,17	0,76	1,97	0,60	0,47	0,28	0,73		
Décembre	0,43	0,43	24,00	10,28	26,64	6,02	0,10	0,60	1,56	0,47	0,50	0,24	0,62		

Mois	Qmoyen station (m3/s)	Qmoyen TAD1 (m3/s)	Cmoyenne NO3 (mg/l)	Flux NO3 (g/s)	Flux NO3 (T/mois)	Flux N.NO3 (T/mois)	Cmoyenne NO2 (mg/l)	Flux NO2 (g/s)	Flux NO2 (T/mois)	Flux N.NO2 (T/mois)	Cmoyenne NK (mg/l)	Flux NK (g/s)	Flux NK (T/mois)	Bassin versant TAD1	
Année 1999															
Janvier	1,00	0,98	39,00	38,19	98,98	22,35	0,16	3,58	9,27	2,82	0,80	2,26	5,85		
Février	0,52	0,51	42,00	21,43	55,54	12,54	0,10	1,25	3,25	0,99	0,50	0,49	1,28		
Mars	0,36	0,35	38,00	13,36	34,62	7,82	0,08	0,63	1,62	0,49	0,70	0,35	0,90		
Avril	0,46	0,45	35,50	16,13	41,81	9,44	0,27	2,55	6,61	2,01	0,50	1,01	2,61		
Mai	0,26	0,25	37,00	9,38	24,32	5,49	0,23	1,26	3,27	1,00	0,80	0,80	2,07		
Juin	0,14	0,14	36,50	4,97	12,88	2,91	0,27	0,79	2,03	0,62	0,60	0,37	0,96		
Juillet	0,06	0,05	45,00	2,47	6,40	1,44	0,15	0,22	0,56	0,17	0,50	0,09	0,22		
Août	0,06	0,05	51,50	2,77	7,19	1,62	0,13	0,21	0,55	0,17	0,50	0,08	0,22		
Septembre	0,15	0,15	48,50	7,27	18,83	4,25	0,14	0,60	1,54	0,47	0,50	0,23	0,61		
Octobre	0,44	0,43	35,00	14,94	38,73	8,75	0,19	1,66	4,31	1,31	1,00	1,31	3,40		
Novembre	0,47	0,46	28,50	13,12	34,00	7,68	0,17	1,31	3,38	1,03	0,80	0,82	2,13		
Décembre	1,81	1,77	30,00	53,17	137,81	31,12	0,20	6,22	16,13	4,91	0,48	2,36	6,11		
Année 2000															
Janvier	0,76	0,75	29,00	21,61	56,01	12,65	0,10	1,26	3,28	1,00	0,90	0,90	2,33		
Février	0,70	0,68	41,00	27,98	72,53	16,38	0,12	1,97	5,09	1,55	0,50	0,78	2,01		
Mars	0,46	0,45	25,00	11,14	28,87	6,52	0,11	0,72	1,86	0,57	1,30	0,74	1,91		
Avril	0,33	0,32	34,00	11,02	28,56	6,45	0,18	1,16	3,01	0,92	0,60	0,55	1,42		
Mai	0,31	0,30	31,00	9,32	24,15	5,45	0,21	1,15	2,97	0,90	0,60	0,54	1,41		
Juin	0,14	0,14	30,00	4,08	10,58	2,39	0,29	0,69	1,80	0,55	1,50	0,82	2,13		
Juillet	0,10	0,10	48,00	4,75	12,30	2,78	0,17	0,47	1,22	0,37	0,50	0,19	0,48		
Août	0,07	0,07	41,00	2,69	6,97	1,57	0,13	0,20	0,53	0,16	0,50	0,08	0,21		
Septembre	0,08	0,08	44,00	3,36	8,71	1,97	0,22	0,43	1,12	0,34	0,50	0,17	0,44		
Octobre	0,28	0,27	33,00	8,92	23,12	5,22	0,20	1,04	2,71	0,82	0,90	0,74	1,92		
Novembre	1,23	1,20	26,00	31,31	81,17	18,33	0,13	2,38	6,18	1,88	3,30	6,20	16,08		
Décembre	1,32	1,29	27,00	34,90	90,45	20,43	0,11	2,25	5,82	1,77	1,10	1,95	5,05		
Année 2001															
Janvier	1,91	1,87	25,00	46,76	121,19	27,37	0,08	2,19	5,67	1,73	0,90	1,55	4,03		
Février	1,11	1,09	16,00	17,39	45,07	10,18	0,07	0,71	1,85	0,56	1,20	0,67	1,75		
Mars	1,99	1,95	31,00	60,40	156,57	35,35	0,07	2,47	6,41	1,95	0,50	0,98	2,53		
Avril	0,71	0,69	30,00	20,83	53,98	12,19	0,11	1,34	3,48	1,06	0,60	0,63	1,65		
Mai	0,88	0,87	15,00	12,98	33,65	7,60	0,08	0,61	1,58	0,48	1,20	0,58	1,49		
Juin	0,14	0,14	46,00	6,49	16,81	3,80	0,10	0,38	0,98	0,30	0,48	0,14	0,37		
Juillet	0,13	0,13	44,00	5,51	14,29	3,23	0,30	0,97	2,51	0,76	0,48	0,37	0,95		
Août	0,08	0,07	44,00	3,23	8,38	1,89	0,53	1,00	2,60	0,79	0,48	0,38	0,98		
Septembre	0,06	0,05	47,00	2,53	6,56	1,48	0,10	0,15	0,38	0,12	0,48	0,06	0,15		
Octobre	0,07	0,07	40,00	2,78	7,21	1,63	0,14	0,23	0,59	0,18	0,50	0,09	0,23		
Novembre	0,06	0,05	35,00	1,92	4,97	1,12	0,15	0,17	0,44	0,13	0,50	0,07	0,17		
Décembre	0,14	0,14	11,00	1,52	3,94	0,89	0,10	0,09	0,23	0,07	1,40	0,10	0,25		

Mois	Qmoyen station (m3/s)	Qmoyen VAU2 (m3/s)	Cmoyenne NO3 (mg/l)	Flux NO3 (g/s)	Flux NO3 (T/mois)	Flux N.NO3 (T/mois)	Cmoyenne NO2 (mg/l)	Flux NO2 (g/s)	Flux NO2 (T/mois)	Flux N.NO2 (T/mois)	Cmoyenne NK (mg/l)	Flux NK (g/s)	Flux NK (T/mois)	Bassin versant VAU2	
Année 1999															
Janvier	3,48	2,69	66,00	177,81	460,88	104,07	0,05	5,20	13,49	4,10	0,50	2,05	5,32		
Février	1,74	1,35	62,00	83,52	216,47	48,88	0,07	3,42	8,87	2,70	0,50	1,35	3,50		
Mars	1,40	1,08	64,00	69,36	179,79	40,60	0,05	2,03	5,26	1,60	0,40	0,64	1,66		
Avril	1,18	0,91	56,00	51,16	132,60	29,94	0,07	2,10	5,43	1,65	0,50	0,83	2,14		
Mai	0,87	0,68	61,00	41,18	106,74	24,10	0,10	2,41	6,25	1,90	0,69	1,31	3,40		
Juin	0,54	0,42	56,00	23,41	60,68	13,70	0,10	1,37	3,55	1,08	0,69	0,75	1,93		
Juillet	0,29	0,23	55,00	12,52	32,45	7,33	0,10	0,73	1,90	0,58	1,10	0,64	1,65		
Août	0,31	0,24	49,00	11,72	30,38	6,86	0,05	0,34	0,89	0,27	0,69	0,19	0,48		
Septembre	0,45	0,35	38,00	13,15	34,08	7,70	0,10	0,77	1,99	0,61	1,00	0,61	1,57		
Octobre	0,94	0,73	49,00	35,70	92,52	20,89	0,02	0,42	1,08	0,33	0,47	0,15	0,40		
Novembre	1,10	0,85	54,50	46,41	120,30	27,16	0,01	0,27	0,70	0,21	1,00	0,21	0,56		
Décembre	4,12	3,19	58,50	186,59	483,63	109,21	0,05	5,46	14,15	4,31	0,80	3,45	8,93		
Année 2000															
Janvier	2,22	1,72	59,00	101,40	262,83	59,35	0,07	4,15	10,77	3,28	0,50	1,64	4,25		
Février	2,01	1,56	57,00	88,70	229,90	51,91	0,07	3,63	9,42	2,87	0,89	2,55	6,61		
Mars	2,09	1,62	57,00	92,23	239,05	53,98	0,07	3,78	9,79	2,98	0,60	1,79	4,64		
Avril	2,01	1,56	51,00	79,36	205,70	46,45	0,07	3,25	8,43	2,56	0,60	1,54	3,99		
Mai	1,85	1,43	46,00	65,88	170,76	38,56	0,14	5,40	13,99	4,26	3,50	14,90	38,63		
Juin	0,79	0,61	53,00	32,58	84,44	19,07	0,14	2,67	6,92	2,11	0,89	1,87	4,86		
Juillet	0,95	0,74	50,00	36,81	95,41	21,55	0,07	1,51	3,91	1,19	0,50	0,59	1,54		
Août	0,27	0,21	50,00	10,26	26,59	6,00	0,10	0,60	1,56	0,47	0,60	0,28	0,74		
Septembre	0,25	0,19	51,00	9,79	25,38	5,73	0,05	0,29	0,74	0,23	0,50	0,11	0,29		
Octobre	1,14	0,88	43,00	37,95	98,36	22,21	0,12	2,67	6,91	2,10	0,89	1,87	4,85		
Novembre	3,84	2,97	48,00	142,69	369,86	83,52	0,07	5,85	15,15	4,61	0,80	3,69	9,56		
Décembre	3,90	3,02	47,00	141,90	367,81	83,05	0,09	7,47	19,37	5,90	0,69	4,07	10,55		
Année 2001															
Janvier	4,44	3,44	57,00	195,92	507,83	114,67	0,05	5,73	14,86	4,52	0,50	2,26	5,86		
Février	2,87	2,22	54,00	119,98	310,99	70,22	0,05	3,51	9,10	2,77	0,50	1,38	3,59		
Mars	3,75	2,90	32,00	92,90	240,79	54,37	0,05	2,72	7,05	2,14	1,70	3,65	9,45		
Avril	1,80	1,39	50,00	69,67	180,60	40,78	0,05	2,04	5,29	1,61	0,47	0,76	1,96		
Mai	0,78	0,60	48,00	28,91	74,94	16,92	0,07	1,18	3,07	0,93	0,50	0,47	1,21		
Juin	0,62	0,48	41,00	19,74	51,17	11,56	0,11	1,27	3,29	1,00	1,00	1,00	2,60		
Juillet	0,46	0,36	44,00	15,77	40,88	9,23	0,07	0,65	1,67	0,51	0,50	0,25	0,66		
Août	0,36	0,28	49,00	13,50	35,00	7,90	0,05	0,40	1,02	0,31	0,50	0,16	0,40		
Septembre	0,29	0,22	50,00	11,19	29,00	6,55	0,05	0,33	0,85	0,26	0,50	0,13	0,33		
Octobre	0,22	0,17	40,00	6,87	17,82	4,02	0,07	0,28	0,73	0,22	0,89	0,20	0,51		
Novembre	0,33	0,25	45,00	11,36	29,44	6,65	0,05	0,33	0,86	0,26	0,50	0,13	0,34		
Décembre	0,41	0,32	47,00	15,06	39,04	8,82	0,05	0,44	1,14	0,35	0,50	0,17	0,45		

ANNEXE 7

Calcul des besoins en azote des cultures et des apports en fertilisants minéraux et organiques pour les bassins versants ERV1, TAD1 et VAU2

Estimation des besoins nécessaires en azote pour les cultures (ERV1)

Code postal	Nom de la commune	Céréales (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Oléoprotéagineux (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Superficie fourragère principale (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Prairies temporaires (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Superficie toujours en herbe (ha)	Besoin estimé en N (t/an)
53010	ASSE-LE-BERENGER	180	24,1	50	3,4	821	31,9	105	8,9	617	50,9
53097	EVRON	449	1,1	31	0,0	2 341	1,6	376	0,6	1 601	2,3
53120	IZE	394	0,3	62	0,0	1 689	0,3	905	0,4	414	0,2
53221	SAINT-GEORGES-SUR-ERVE	126	15,1	0	0,0	1 303	45,2	283	21,4	860	63,4
53239	SAINT-MARTIN-DE-CONNÉE	435	3,6	77	0,3	1 236	2,9	446	2,3	391	2,0
53249	SAINT-PIERRE-SUR-ORTHE	429	0,2	95	0,0	1 425	0,1	356	0,1	684	0,2
53265	TORCE-VIVIERS-EN-CHARNIE	629	0,1	39	0,0	1 799	0,1	380	0,1	1 182	0,2
53274	VIMARCE	432	52,4	86	5,3	1 408	49,5	478	36,6	621	46,4
53276	VOUTRE	284	25,6	96	4,4	972	25,4	210	11,9	549	30,5
72255	ROUESSE-VASSE	457	0,0	105	0,0	1 270	0,0	27	0,0	1 094	0,0
Total	/	3 815	122,4	641	13,5	14 264	157,1	3 566	82,1	8 013	196,0

Estimation totale des apports nécessaires (t/an)	571,1
---	--------------

Quantité de fertilisants minéraux azotés livrés (ERV1)

Code postal	Nom de la commune	Superficie totale (km2)	Superficie incluse dans ERV1 (km2)	Superficie agricole utilisée des exploitations (ha)	Superficie agricole incluse dans ERV1 (ha)	Livraison de fertilisants minéraux dans ERV1 (t/an)
53010	ASSE-LE-BERENGER	11,68	11,33	1 055	1023,21	60,7
53097	EVRON	35,52	0,60	2 889	49,04	2,9
53120	IZE	28,48	0,14	2 168	10,35	0,6
53221	SAINT-GEORGES-SUR-ERVE	20,48	17,77	1 450	1258,20	74,7
53239	SAINT-MARTIN-DE-CONNÉE	19,52	1,16	1 777	105,33	6,3
53249	SAINT-PIERRE-SUR-ORTHE	31,83	0,08	2 012	5,25	0,3
53265	TORCE-VIVIERS-EN-CHARNIE	48,89	0,08	2 534	3,94	0,2
53274	VIMARCE	20,75	18,25	2 014	1771,45	105,1
53276	VOUTRE	18,65	12,18	1 374	897,63	53,3
72255	ROUESSE-VASSE	3177,00	0,99	1 865	0,58	0,0

Total des livraisons (t/an)	304,2
------------------------------------	--------------

Production estimée d'azote par les animaux d'élevages (ERV1)

Code postale	Nom de la commune	Total bovins	Rejet estimé en N (t/an)	Total équidés	Rejet estimé en N (t/an)	Total porcins	Rejet estimé en N (t/an)	Chèvres	Rejet estimé en N (t/an)	Brebis mères	Rejet estimé en N (t/an)	Poulets de chair et coqs	Rejet estimé en N (t/an)	Poules pondeuses	Rejet estimé en N (t/an)
53010	ASSE-LE-BERENGER	1 768	90,9	0	0,0	0	0,0	0	0,0	334	3,2	20 056	3,5	17 239	7,5
53097	EVRON	5 342	4,8	30	0,1	1 130	0,3	4	0,0	81	0,0	15 561	0,0	26 340	0,2
53120	IZE	3 991	1,0	6	0,0	1 407	0,1	4	0,0	82	0,0	213	0,0	8 197	0,0
53221	SAINT-GEORGES-SUR-ERVE	2 550	117,3	38	3,3	651	8,5	0	0,0	21	0,2	1 667	0,3	234	0,1
53239	SAINT-MARTIN-DE-CONNÉE	2 910	9,1	38	0,2	951	0,8	0	0,0	60	0,0	52	0,0	25 171	0,7
53249	SAINT-PIERRE-SUR-ORTHE	3 169	0,4	42	0,0	32	0,0	0	0,0	61	0,0	23 758	0,0	1 055	0,0
53265	TORCE-VIVIERS-EN-CHARNIE	3 881	0,3	68	0,0	858	0,0	7	0,0	42	0,0	28 134	0,0	23 048	0,0
53274	VIMARCE	3 032	141,3	17	1,5	78	1,0	0	0,0	44	0,4	13 000	2,1	3 744	1,5
53276	VOUTRE	2 609	90,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	98	0,6	0	0,0	148	0,0
72255	ROUESSE-VASSE	2 463	0,0	53	0,0	422	0,0	11	0,0	85	0,0	43 074	0,0	26 013	0,0
Total	/	31 715	455,6	292	5,1	5 529	10,8	26	0,0	908	4,5	145 515	5,9	131 189	10,1

Rejet total estimé (t/an)	491,9
----------------------------------	--------------

Estimation des besoins nécessaires en azote pour les cultures (TAD1)

Code postal	Nom de la commune	Céréales (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Oléoprotéagineux (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Superficie fourragère principale (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Prairies temporaires (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Superficie toujours en herbe (ha)	Besoin estimé en N (t/an)
53027	BEAUMONT-PIED-DE-BOEUF	297	1,9	70	0,2	701	1,3	244	1,0	339	1,4
53036	BOUERE	771	50,3	175	5,8	1 612	30,5	365	15,0	810	32,6
53110	GREZ-EN-BOUERE	761	59,2	174	6,9	1 286	29,0	406	19,9	570	27,3
53138	LONGUEFUY	290	3,4	64	0,4	585	2,0	232	1,7	158	1,2
53203	SAINT-BRICE	360	28,2	117	4,7	461	10,5	94	4,7	217	10,5
53206	SAINT-CHARLES-LA-FORET	228	0,7	77	0,1	492	0,5	102	0,2	256	0,5
53233	SAINT-LOUP-DU-DORAT	119	3,7	36	0,6	311	2,8	0	0,0	219	4,2
Total	/	2 826	147,6	713	18,6	5 448	76,6	1 443	42,5	2 569	77,6

Estimation totale des apports nécessaires (t/an)	362,8
---	--------------

Quantité de fertilisants minéraux azotés livrés (TAD1)

Code postal	Nom de la commune	Superficie totale (km2)	Superficie incluse dans TAD1 (km2)	Superficie agricole utilisée des exploitations (ha)	Superficie agricole incluse dans TAD1 (ha)	Livraison de fertilisants minéraux dans TAD1 (t/an)
53027	BEAUMONT-PIED-DE-BOEUF	13,31	0,62	1 112	52,13	3,1
53036	BOUERE	42,54	20,13	2 709	1281,65	76,1
53110	GREZ-EN-BOUERE	27,29	15,38	2 419	1362,94	80,9
53138	LONGUEFUYE	14,32	1,23	1 037	89,00	5,3
53203	SAINT-BRICE	13,23	7,52	998	567,49	33,7
53206	SAINT-CHARLES-LA-FORET	10,61	0,24	833	19,16	1,1
53233	SAINT-LOUP-DU-DORAT	8,29	1,88	487	110,27	6,5

Total des livraisons (t/an)	206,7
------------------------------------	--------------

Production estimée d'azote par les animaux d'élevages (TAD1)

Code postale	Nom de la commune	Total bovins	Rejet estimé en N (t/an)	Total équidés	Rejet estimé en N (t/an)	Total porcins	Rejet estimé en N (t/an)	Chèvres	Rejet estimé en N (t/an)	Brebis mères	Rejet estimé en N (t/an)	Poulets de chair et coqs	Rejet estimé en N (t/an)	Poules pondeuses	Rejet estimé en N (t/an)
53027	BEAUMONT-PIED-DE-BOEUF	1 137	2,8	51	0,2	0	0,0	0	0,0	334	0,2	59	0,0	7 739	0,2
53036	BOUERE	2 876	72,1	79	3,7	1 738	12,3	8	0,0	242	1,1	43 870	3,7	14 350	3,1
53110	GREZ-EN-BOUERE	2 239	66,9	217	12,2	51	0,4	12	0,1	112	0,6	14 197	1,4	13 885	3,5
53138	LONGUEFUYE	952	4,3	7	0,1	0	0,0	7	0,0	221	0,2	15 377	0,2	5 082	0,2
53203	SAINT-BRICE	841	25,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	52	0,0	6 427	1,6
53206	SAINT-CHARLES-LA-FORET	808	1,0	113	0,3	0	0,0	0	0,0	225	0,1	8 636	0,0	5 107	0,1
53233	SAINT-LOUP-DU-DORAT	353	4,2	57	1,3	0	0,0	0	0,0	21	0,0	7	0,0	165	0,0
Total	/	9 206	176,7	524	17,8	1 789	12,8	27	0,1	1 155	2,2	82 198	5,5	52 755	8,6

Rejet total estimé (t/an)	223,7
----------------------------------	--------------

Estimation des besoins nécessaires en azote pour les cultures (VAU2)

Code postal	Nom de la commune	Céréales (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Oléoprotéagineux (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Superficie fourragère principale (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Prairies temporaires (ha)	Besoin estimé en N (t/an)	Superficie toujours en herbe (ha)	Besoin estimé en N (t/an)
53016	BAIS	384	8,0	0	0,0	1 866	11,2	1 020	13,3	371	4,7
53083	COURCITE	850	11,8	198	1,4	1 676	6,8	774	6,8	426	3,7
53120	IZE	394	23,3	62	1,9	1 689	29,0	905	33,7	414	15,1
53198	SAINT-AUBIN DU-DESERT	448	12,6	128	1,8	692	5,7	256	4,5	240	4,2
53223	SAINT-GERMAIN-DE-COULAMER	430	48,2	108	6,1	887	28,8	282	19,9	388	26,8
53236	SAINT-MARS-DU-DESERT	105	6,6	0	0,0	390	7,1	189	7,5	118	4,6
53239	SAINT-MARTIN-DE-CONNÉE	435	10,0	77	0,9	1 236	8,2	446	6,4	391	5,5
53249	SAINT-PIERRE-SUR-ORTHE	429	12,6	95	1,4	1 425	12,1	356	6,6	684	12,4
53256	SAINT-THOMAS-DE-COURCERIEUX	330	46,0	80	5,7	844	34,1	314	27,6	301	25,9
53266	TRANS	339	10,6	47	0,7	1 022	9,2	489	9,6	285	5,5
72211	MONT-SAINT-JEAN	959	0,9	282	0,1	1 642	0,4	618	0,4	781	0,4
Total	/	5 103	190,6	1 077	20,1	13 369	152,7	5 649	136,5	4 399	108,7

Estimation totale des apports nécessaires (t/an)	608,6
---	--------------

Quantité de fertilisants minéraux azotés livrés (VAU2)

Code postal	Nom de la commune	Superficie totale (km2)	Superficie incluse dans VAU2 (km2)	Superficie agricole utilisée des exploitations (ha)	Superficie agricole incluse dans VAU2 (ha)	Livraison de fertilisants minéraux dans VAU2 (t/an)
53016	BAIS	26,28	3,95	2 316	348,37	20,7
53083	COURCITE	30,70	3,10	2 804	283,23	16,8
53120	IZE	28,48	12,21	2 168	929,09	55,1
53198	SAINT-AUBIN-DU-DESERT	12,66	2,59	1 307	266,97	15,8
53223	SAINT-GERMAIN-DE-COULAMER	17,80	14,47	1 458	1185,24	70,3
53236	SAINT-MARS-DU-DESERT	11,91	5,45	528	241,66	14,3
53239	SAINT-MARTIN-DE-CONNÉE	19,52	3,24	1 777	295,04	17,5
53249	SAINT-PIERRE-SUR-ORTHE	31,83	6,76	2 012	427,43	25,4
53256	SAINT-THOMAS-DE-COURCERIE RS	13,10	13,24	1 264	1277,60	75,8
53266	TRANS	15,68	3,54	1 430	322,94	19,2
72211	MONT-SAINT-JEAN	42,48	0,28	3 016	19,81	1,6

Total des livraisons (t/an)	332,6
------------------------------------	--------------

Production estimée d'azote par les animaux d'élevages (VAU2)

Code postale	Nom de la commune	Total bovins	Rejet estimé en N (t/an)	Total équidés	Rejet estimé en N (t/an)	Total porcins	Rejet estimé en N (t/an)	Chèvres	Rejet estimé en N (t/an)	Brebis mères	Rejet estimé en N (t/an)	Poulets de chair et coqs	Rejet estimé en N (t/an)	Poules pondeuses	Rejet estimé en N (t/an)
53016	BAIS	4 024	32,1	3	0,0	2 656	6,0	6	0,0	13	0,0	23 757	0,6	115 157	7,8
53083	COURCITE	4 236	22,7	29	0,3	13 602	20,6	0	0,0	69	0,1	26 899	0,5	10 579	0,5
53120	IZE	3 991	90,6	6	0,3	1 407	9,0	4	0,0	82	0,4	213	0,0	8 197	1,6
53198	SAINT-AUBIN-DU-DESERT	1 682	18,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	21	0,0	43 156	1,6	28 304	2,6
53223	SAINT-GERMAIN-DE-COULAMER	2 037	87,8	0	0,0	3 212	39,2	0	0,0	62	0,5	8 823	1,3	10 336	3,8
53236	SAINT-MARS-DU-DESERT	878	21,3	0	0,0	1 436	9,9	0	0,0	20	0,1	0	0,0	15 205	3,1
53239	SAINT-MARTIN-DE-CONNÉE	2 910	25,6	38	0,6	951	2,4	0	0,0	60	0,1	52	0,0	25 171	1,9
53249	SAINT-PIERRE-SUR-ORTHE	3 169	35,7	42	0,9	32	0,1	0	0,0	61	0,1	23 758	0,9	1 055	0,1
53256	SAINT-THOMAS-DE-COURCERIE RS	1 934	103,6	0	0,0	5 179	78,5	0	0,0	21	0,2	0	0,0	21 728	9,9
53266	TRANS	2 460	29,4	8	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	7 018	0,3	3 850	0,4
72211	MONT-SAINT-JEAN	3 189	1,1	11	0,0	1 583	0,2	0	0,0	343	0,0	126 956	0,2	54 120	0,2
Total	/	30 510	468,1	137	2,3	30 058	165,8	10	0,0	752	1,5	260 632	5,4	293 702	31,8

Rejet total estimé (t/an)	675
----------------------------------	------------

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	
Cycle de l'azote.....	p. 13
Figure 2 :	
Ordre de grandeur des fractions d'azote dans quelques engrais de ferme	p. 14
Figure 3 :	
Cycle du phosphore.....	p. 16
Figure 4 :	
Principe de la fertilisation raisonnée.....	contre p. 22
Figure 5 :	
La Loire et ses affluents.....	contre p. 27
Figure 6 :	
Limites géographiques du bassin de la Loire.....	contre p. 27
Figure 7 :	
Qualité des cours d'eau dans le bassin Loire-Bretagne en 1996	p. 30
Figure 8 :	
Bilan prévisionnel de fertilisation azotée.....	p. 32
Figure 9 :	
Approche économique du bilan azoté.....	contre p. 35
Figure 10 :	
Approche agronomique du bilan azoté	contre p. 35
Figure 11 :	
Bilan azoté à la surface des sols agricoles	p. 36
Figure 12 :	
Répartition communale du bassin versant de la Vaudelle	p. 39
Figure 13 :	
Répartition hydrographique du bassin versant de la Vaudelle.....	p. 39
Figure 14 :	
Répartition communale du bassin versant de l'Erve.....	p. 40
Figure 15 :	
Répartition hydrographique du bassin versant de l'Erve	p. 40
Figure 16 :	
Répartition communale du bassin versant de la Taude.....	p. 40
Figure 17 :	
Répartition hydrographique du bassin versant de la Taude	p. 40
Figure 18 :	
Localisation des stations hydrométriques sur le bassin de la Loire	contre p. 41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :

Composition moyenne du végétal en % de la matière sèche p. 9

Tableau 2 :

Coefficients de rejet des déjections animales contre p. 34

Tableau 3 :

Estimation mensuelle des flux d'azote contre p. 44

Tableau 4 :

Coefficients de rejet des déjections animales p. 48

Tableau 5 :

Apports conseillés en azote..... p. 49

Tableau 6 :

Superficie des communes de ERV1, TAD1 et VAU2 contre p. 49

Tableau 7 :

Estimation des surplus d'azote pour 2000 p. 50

Tableau 8 :

Evolution des concentrations en nitrates..... contre p. 52

Tableau 9 :

Estimation annuelle des flux d'azote p. 53

Tableau 10 :

Comparaison surplus/flux p. 54