

1 - INTRODUCTION

L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse a chargé le BRGM - Lorraine de réaliser une étude de la pollution des cours d'eau d'origine diffuse par l'Azote et le Phosphore.

Cette étude intègre le transfert de l'azote, essentiellement sous forme de nitrates, par les eaux souterraines et le transfert azote et phosphore par les eaux de ruissellement.

Les données utilisées portent principalement sur la période 1978/1988 mais remontent sur la décennie précédente suivant certaines hypothèses et permettent une extrapolation sur les décennies à venir.

2 - DONNEES UTILISEES

Les données utilisées dans cette étude proviennent de différentes sources : I.N.R.A., Agence de l'Eau Rhin-Meuse, D.D.A.S.S. et BRGM.

2.1. Les données de base

Le découpage en 8 bassins versants (annexe 1) est superposé à la carte hydrogéologique du Bassin Rhin-Meuse au 1/500.000ème afin de faire apparaître les différentes lithologies susceptibles ou non de contenir des aquifères.

Ainsi, les terrains non aquifères (qualifiés "d'autres" dans les tableaux seront également pris en compte dans l'estimation des échanges.

2.2. Les flux d'azote et de phosphore en rivière

Le tableau de l'annexe 2 présentant le bilan de l'azote et du phosphore diffus sur le Bassin Rhin-Meuse rend compte des données de flux en rivière.

Celles-ci proviennent des listings de l'AFBRM sur les années 1978 à 1989.

Certaines zones particulières ont été éliminées des calculs afin d'obtenir des résultats homogènes et représentatifs :

- Rhin amont A02 = la partie en aval des stations de Fegersheim, Holtzheim, Geispolsheim, Mundolsheim et Huttenheim et notamment toute l'agglomération de Strasbourg,
- Sarre A9 = l'agglomération de Sarreguemines, toute la zone des affluents de la Blies qui se jette dans la Sarre à Sarreguemines et la région de l'Est de Forbach qui porte un affluent de la Sarre en aval de Sarreguemines.

Observation : Lors du premier bilan, il avait été démontré que, sur une période allant de 1978 à 1989, les charges en azote et en phosphore évoluaient de la même manière que le débit de la rivière (annexe 3). Les courbes de l'annexe 4, réalisées sur une seule année, font acte de la même observation.

Ceci montre deux phénomènes :

- d'une part, les charges azotées et phosphorées sont directement dépendantes des conditions climatiques, c'est pourquoi nous avons travaillé sur la moyenne 1978/1988,
- d'autre part, la charge azotée, comme celle phosphorée, est liée au ruissellement de crue.

2.3. Les Rejets

Les rejets connus en 1988 nous ont été fournis par l'AFBRM. Ces valeurs tiennent compte des exclusions énumérées plus haut. Ainsi, à partir de ces données de rejets et des flux en rivière, il est possible d'aborder les apports diffus aux rivières par simple soustraction (dernière colonne de l'annexe 2).

Les résultats négatifs en phosphore montrent l'inadéquation de cette méthode pour cet élément et la relative fiabilité pour l'azote.

2.4. L'excédent agricole

Il représente le "potentiel en surface" disponible (données RGA sur les années 1978 et 1988 fournies par l'AFRBRM en annexe 5).

De la même manière que pour les rejets et les flux en rivière, l'excédent agricole est corrigé suivant les zones exclues dans les bassins A02 et A9.

2.5. Les teneurs en nitrates dans les nappes

Les tableaux de l'annexe 6 donnent l'évolution des teneurs par bassins versants dans les différents aquifères pour la période postérieure à 1976.

Les annexes 7 figurent ces évolutions qui, dans un cadre général, ne présentent pas des accroissements importants (de l'ordre de 3 à 4 mg/l de NO_3 en moyenne sur la dernière décennie).

3 - METHODOLOGIE DU BILAN DE L'AZOTE

3.1. Hypothèses de base

Les nappes font l'objet de deux calculs principaux :

- la variation de stock d'azote dans la nappe relative à l'augmentation des teneurs sur une période définie,
- le flux d'azote de la nappe aux rivières.

Ces calculs apparaissent en annexe 8.

3.1.1. *Pour le calcul du stock*, une limite a été fixée à 50 m d'épaisseur d'eau dans le cas d'aquifère dépassant cette valeur (grès du Trias inférieur, le Dogger, le Rauracien et les alluvions du Rhin) car les données au-delà sont peu nombreuses et celles existantes montrent de faibles teneurs.

3.1.2. *Pour le calcul des flux en nappe*, on a modulé l'infiltration efficace dans les aquifères en fonction des débits d'étiage des cours d'eau, la moyenne étant environ le double du débit spécifique d'étiage. A partir de ce débit de nappe, en retirant les débits prélevés on obtient les débits drainés par les rivières. Ensuite, les flux en azote sont calculés en multipliant, pour chaque bassin et chaque aquifère, ces débits par les teneurs moyennes.

3.2. Premier bilan sur 1978/1988

Le schéma-type (annexe 9) a donc été établi pour chaque bassin sur la dernière décennie (annexes 10). La valeur de ruissellement Ru n'est obtenue que par simple soustraction entre ADR et FNR ; de même pour $VSS = EA - ADTN$, ceci en admettant un bouclage des bilans sur 1978/1988.

Cette première approche a montré une importante inertie du système avec des valeurs asymptotiques des teneurs dans les nappes atteintes au bout de plusieurs centaines d'années car l'augmentation des teneurs sur 1978/1988 est globalement très faible.

3.3. Deuxième bilan sur 1968/1988

La deuxième approche prend en compte la période antérieure à 1978. En effet, l'évolution des teneurs dans les nappes a marqué un important accroissement vers les années 1975/1976 (annexes 7g, h et i). La nouvelle période considérée, plus représentative, est donc 1968/1988 avec l'établissement, pour chaque bassin, d'un schéma-type initial rapporté à l'année 1968, point d'origine de l'extrapolation à long terme.

Au vu des courbes des annexes 7g, h et i, les teneurs en azote dans les nappes en 1968 sont environ moitié des teneurs en 1988, excepté dans certains secteurs (B03 et B47) où les données montrent des évolutions plus importantes.

Cette deuxième approche s'est faite à l'aide d'un modèle dynamique.

4 - ETALONNAGE DU MODELE SUR 1968/1988 POUR L'AZOTE

Ce modèle permet de connaître les quantités d'azote échangées sur les différents versants et, notamment, les apports diffus aux rivières (ADR).

La méthode est explicitée en annexe 11 et repose sur plusieurs hypothèses :

- la teneur en azote de l'eau qui s'infiltré est proportionnelle à la teneur en azote mobilisable dans le sol.
- le schéma initial est rapporté à l'année 1968. En effet, on considère que la période antérieure à 1968 est à l'équilibre avec des concentrations en azote dans les nappes minimales et stables (concentrations minimales calculées pour chaque bassin au prorata des débits de chaque aquifère : annexe 8).

l'apport diffus aux rivières initial est par convention divisé par deux étant donné que les concentrations en azote dans les nappes ont, elles, été en moyenne divisées par deux entre 1988 et 1968.

- le calage du modèle s'effectue en calculant la teneur en 1988 et la variation de stock dans la nappe pour la période 1968/1988 et en les comparant aux valeurs réelles observées (annexe 8). Ce calage entraîne des teneurs initiales en azote dans le sol légèrement différentes selon les bassins versants.
- faute de données sur l'année 1968, l'excédent agricole (A) pris en compte sur les deux dernières décennies correspond à la moyenne des années 1978 et 1988. Ce "potentiel en surface" est supposé constant sur toute la période 1968/1988.

5 - SIMULATION DE DEUX EVOLUTIONS FUTURES POUR L'AZOTE

Le modèle dynamique a été appliqué sur les deux prochaines décennies (1998 et 2008) en prenant deux évolutions possibles :

- l'excédent agricole ne varie pas par rapport aux deux dernières décennies,
- l'excédent agricole prend en compte la simulation "An 2000" effectuée par l'AFBRM. Dans ce cas et afin de rester cohérent avec la première démarche, il s'agit de faire les calculs en prenant la moyenne entre les excédents agricoles sur l'année 1988 et la simulation "An 2000" (prise comme 1998). Cette valeur est affectée à l'intervalle de temps 1988/1998 ; pour la période postérieure à 1998, seuls interviennent les excédents agricoles simulés,
- les hypothèses de réduction des rejets agricoles en l'an 2000, par rapport à 1988, sont les suivantes :
 - . maïs fourrage maintenu,
 - . gel des terres, - 10 % des surfaces en céréales,
 - . vignes totalement enherbées,
 - . engrais N identique à 1988,
 - . production végétale, + 10 % de 1988,
- l'excédent agricole ainsi calculé est de 75 KtN/an, soit 25 KtN/an de moins que la moyenne 1978/88 pour l'ensemble du Bassin Rhin-Meuse.

On observe alors :

- les teneurs en nitrates à long terme dans les nappes atteindront en moyenne, sur le bassin Rhin-Meuse, 33 mg/l (teneurs obtenues au bout de plusieurs décennies : annexes 12). Si l'effort est réalisé selon la simulation de l'an 2000, cette valeur sera de 25 mg/l,
- les apports diffus en rivière proviennent en moyenne à 3/4 du ruissellement direct ou hypodermique et à 1/4 du flux des nappes (annexe 11),
- pour les deux prochaines décennies, la diminution de l'excédent agricole simulée représente sur le total du bassin Rhin-Meuse 25 KtN/an, malgré que dans certains bassins (A78 et A9), cet excédent restera à peu près constant par rapport aux deux dernières décennies,
- l'hypothèse "An 2000" montre que les teneurs en nappe et les apports diffus en rivière continuent d'augmenter (sauf pour B47) mais moins qu'en admettant l'excédent agricole 1978/88 constant. L'amélioration sur le bassin Rhin-Meuse en 2008 serait de l'ordre de 14 % pour les apports diffus et de l'ordre de 9 % pour les teneurs en nappe.

6 - APPORTS DIFFUS EN PHOSPHORE

6.1. Estimation des flux

Le détail des calculs est donné dans la note technique en annexe 13.

- Les entrées sur le BRM

	<u>KtP/an</u>
. la pluie (maximum)	1,5
. l'excédent agricole en 1978	86,5
. l'excédent agricole en 1988	75,6
. total moyen des entrées	82

- Les sorties

. Phosphore dissous (Pd)	0,42
. Phosphore particulaire (Pp)	1,7 à 6,8
. flux supplémentaire de Pp par excédent agricole (78/88)	0,25
. total moyen des sorties	2,4 à 7,5

La différence entrées/sorties montre que 90 % des apports restent dans le sol et font augmenter sa teneur en Phosphore. Mais cette augmentation reste très faible ($0,5$ à $2 \cdot 10^{-5}$ /an) par rapport à la teneur initiale 100 fois plus élevée ($0,5$ à $2 \cdot 10^{-3}$).

6.2. Bilan du Phosphore

Le bilan légèrement négatif (Flux rivière - Rejet = - 0,43 KtP/an) ne permet pas d'estimer les apports diffus :

- le flux rivière est sous-estimé,
- le transfert sur le bassin est surestimé car une bonne part des matières en suspension arrachées aux terrains se resédimente (colluvionnements de pied de pentes, limons d'épandage de crue, curage d'étangs et fossés ...).

Si l'on prend le flux de Phosphore dissous et 10 % du flux particulaire, on obtient un ordre de grandeur des apports diffus aux exutoires de 0,6 à 1,2 KtP/an.

7 - CONCLUSIONS

◆ Le Phosphore (P)

- . Excédents agricoles sur BRM = 82 KtP/an (moyenne 1978/88) :
 - 90 % stockés dans les sols,
 - 10 % en transfert sur bassin,
 - 0,7 à 1,5 % évacués aux exutoires.
- . Les apports diffus en rivière seraient de 5 à 10 fois plus faibles que les rejets (5,8 KtP/an) domestiques et industriels.

◆ L'Azote (N)

◆ ◆ Moyenne 1978/88

- . Excédents agricoles sur BRM = 100 KtN/an :
 - 55 % stockés dans les sols,
 - 14 % en transfert dans les nappes,
 - 31 % ruisselés en rivière.

- . Les apports diffus en rivière sont deux fois plus importants que les rejets et proviennent pour 1/4 des nappes et 3/4 du ruissellement.

◆ ◆ Régime à long terme, par rapport à la référence 1988

(1) Excédents 100 KtN/an	SITUATION DANS 20 ANS	
(2) Excédents 74 KtN/an	en conservant la situation actuelle (1)	en améliorant la gestion de l'azote des cultures (2)
Augmentation des apports diffus aux rivières	37 %	18 %
Augmentation des teneurs moyennes en nappe	40%	27%

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 - Découpage des bassins versants**
- Annexe 2 - Bilan N/P diffus sur le Bassin Rhin-Meuse**
- Annexe 3 - Courbes d'évolution sur la Moselle aval à Sierck**
- Annexe 4 - Relation débit et charges en azote et phosphore dans la Moselle**
- Annexe 5 - Tableau de synthèse des données RGA sur les différents bassins versants**
- Annexe 6 - Historique des teneurs en nitrates dans les nappes**
- Annexe 7 - Courbes d'évolution des teneurs en nitrates dans les aquifères du Bassin Rhin-Meuse**
- Annexe 8 - Calculs par bassin versant et par aquifère des stockages et des flux d'azote**
- Annexe 9 - Schéma type par sous-bassin des échanges azotés sur la dernière décennie**
- Annexe 10 - Tous les schémas-type par bassin versant des échanges azotés**
- Annexe 11 - Modèle dynamique de calcul des échanges azotés sur le Bassin Rhin-Meuse**
- Annexe 12 - Evolution des teneurs en nitrates dans les nappes suivant deux hypothèses**
- Annexe 13 - Note technique sur les apports diffus en phosphore**