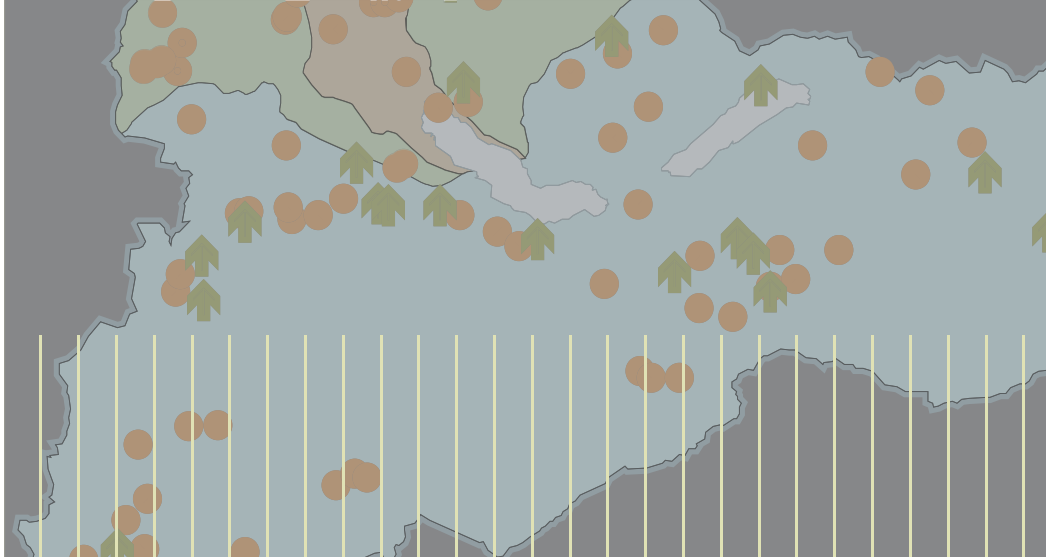




5 Lixiviation des nitrates et évolution de la teneur des eaux souterraines en nitrates dans le canton de Berne

Ernst Spiess

Les modifications de la teneur des eaux souterraines en nitrates ont été appréhendées à l'aide d'une série de données sur les nitrates relatives au canton de Berne. Cette méthode permet de contrôler si l'objectif poursuivi peut être atteint dans les régions du Jura, du Plateau, des Préalpes et des Alpes, à savoir s'il est possible de faire baisser la teneur moyenne des eaux souterraines en nitrates (NO_3^-) de 5 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ de 1990 à 2005. Jusqu'en 2001, la teneur en nitrates a baissé en moyenne de 1,8 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ pour atteindre une valeur de 18 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ dans 214 captages d'eau dont le bassin versant était exploité par l'agriculture, en totalité ou en partie. A titre de comparaison, la teneur en nitrates relevée dans 49 captages dont les bassins versants étaient situés en forêt et dans des surfaces sans végétation a baissé de 0,3 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$, pour atteindre un niveau de 7 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$. Sur le Plateau et dans les Préalpes, la teneur en nitrates des captages dont le bassin versant fait l'objet d'une exploitation agricole a diminué de manière significative, ce qui n'est pas le cas dans le Jura, ni dans les Alpes. Si la tendance reste inchangée, l'objectif de réduction ne pourra donc être atteint que dans les Préalpes.

Durant la deuxième moitié du siècle dernier, l'agriculture suisse a été marquée par une forte intensification qui s'est traduite par une augmentation considérable des rendements végétaux. Parallèlement, les pertes d'éléments nutritifs et les problèmes environnementaux qui en découlent se sont néanmoins accrus (OFEFP 1993, Braun *et al.* 1994, Spiess 1999). Par exemple, les teneurs parfois élevées de nitrates dans les eaux souterraines sont essentiellement dues à la lixiviation des nitrates dans le sous-sol des surfaces à vocation agricole (Prasuhn et Mohni 2003). A plusieurs endroits, la teneur en nitrates de l'eau potable dépasse la valeur exigée par l'Ordonnance sur la protection des eaux, soit 25 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$. Certains captages d'eau dépassent même le seuil de tolérance pour l'eau potable fixé par l'Ordonnance sur les substances étrangères et les composants, soit 40 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$.

Avec l'introduction des paiements directs en 1993 et des mesures écologiques qui y sont liées, l'Office fédéral de l'agriculture s'est fixé comme objectif de réduire la teneur des eaux souterraines en nitrates de 5 $\text{mg NO}_3^-/\text{l}$ en moyenne. Il était prévu de suivre cette évolution sur plusieurs captages sélectionnés et représentatifs entre les années de référence 1990–92 et l'année 2005 (Forni *et al.* 1999).

Dans le cadre de l'évaluation des mesures écologiques, préconisée par l'Ordonnance sur la durabilité, il s'agit d'étudier si l'objectif mentionné plus haut peut être atteint. Pour ce faire, différents projets ont été mis en place à plusieurs niveaux (Braun *et al.* 1998): le «Réseau

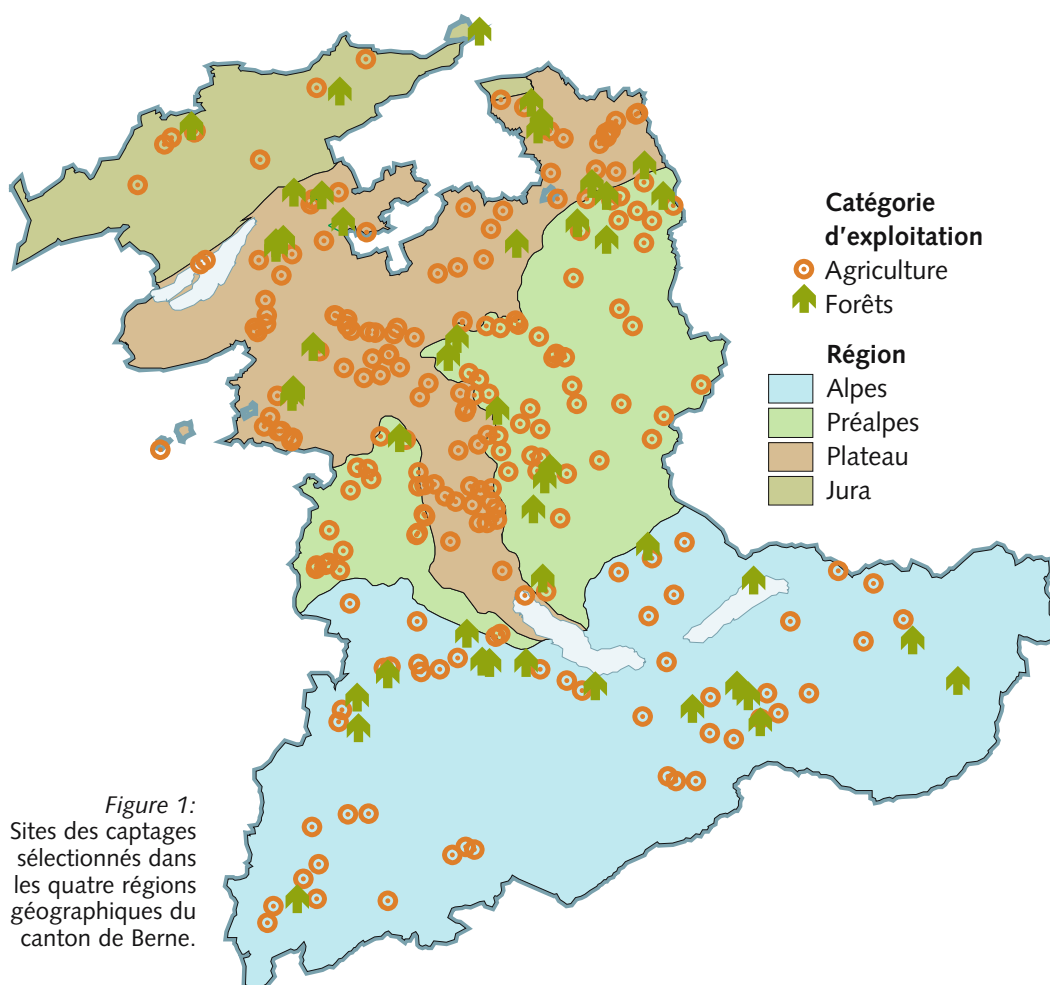
Ernst Spiess,
Agroscope
FAL Reckenholz,
Reckenholzstr. 191,
CH-8046 Zürich

national d'observation de la qualité des eaux souterraines» permet de suivre l'évolution de la teneur en nitrates sur l'ensemble du territoire suisse (réseau de mesure NAQUA_{SPEZ}, chap. 4). Les projets, qui sont réalisés dans des bassins versants plus petits dans les cantons de Zurich et de Berne, cherchent à mettre en évidence le lien de causes à effets entre l'exploitation agricole d'une part et la teneur des eaux souterraines en nitrates d'autre part (chap. 6). La série de données sur les nitrates dans le canton de Berne, qui fait l'objet du présent chapitre, porte sur l'évolution dans différentes régions géographiques. Comme le canton de Berne s'étend du Jura aux Alpes, en passant par le Plateau et les Préalpes, il convient parfaitement pour ce type d'étude.

Sélection des captages d'eau

La série de données sur les nitrates dans le canton de Berne est basée sur des analyses de nitrates qui ont été effectuées au laboratoire cantonal dans le cadre du contrôle des eaux potables. Les analyses d'échantillons qui contenaient des mélanges d'eaux et dont la provenance ne pouvait donc pas être rapportée à un seul captage, ont été laissés de côté. Seuls ont été pris en compte les captages pour lesquels on disposait au moins d'une analyse de nitrates pour les périodes 1990–92, 1993–95, 1996–98 et 1999–2001. Les captages qui ont été mis hors service pendant la période d'étude suite à des teneurs trop élevées en nitrates ou pour d'autres raisons, et dont l'eau n'a donc plus été analysée, n'ont pas non plus pu être pris en compte. C'était le cas de plusieurs captages situés pour la plupart dans des régions agricoles.

Le site de chaque captage a été localisé à l'aide d'une banque de données de l'Office de l'économie hydraulique et énergétique du canton de Berne (Muchenberger 1999) et d'un atlas de l'approvisionnement en eau. Les captages ont été répartis en deux catégories d'exploitation (tab. 1) et classés dans une des quatre régions suivantes: Jura, Plateau, Préalpes, Alpes,



Préalpes et Alpes (fig. 1). Pour savoir si la qualité des eaux d'un captage était ou non influencée par l'exploitation agricole, on s'est référé à son bassin versant superficiel. Ce dernier a dû être défini sur les bases topographiques de la carte nationale à l'échelle 1:25'000, car la plupart des captages ne présente aucune description géologique et hydrologique détaillée.

Au total, 214 captages ont été sélectionnés, dont le bassin versant est exploité au moins partiellement ou totalement par l'agriculture (fig. 1). A titre de référence, on a également sélectionné 49 captages dont le bassin versant se situe essentiellement en forêt et dans des régions sans végétation.

Evaluation statistique

Tableau 1. Les catégories d'exploitation des captages d'eaux souterraines étudiés.

Catégorie	Définition
Agriculture	Captages, dont le bassin versant est exploité de manière agricole, totalement ou en partie.
Forêts	Captages, dont le bassin versant se compose exclusivement de forêts et de surfaces sans végétation.

L'évaluation statistique avait pour but de répondre à trois questions:

- Une baisse éventuelle de la teneur en nitrates est-elle significative ou est-elle seulement le fait du hasard?
- L'objectif qui prévoit une réduction de la teneur en nitrates de 5 mg NO₃⁻/l jusqu'en 2005 pourra-t-il être atteint, si la tendance de l'évolution des teneurs en nitrates reste la même qu'entre 1990 et 2001?
- Peut-on observer une évolution différente des teneurs en nitrates entre les deux catégories «Agriculture» et «Forêts»?

Pour chaque captage, on a calculé une régression linéaire de la moyenne de la teneur en nitrates sur l'année. Le coefficient de régression indique de combien la teneur en nitrates augmente ou diminue par année. Pour répondre aux deux premières questions, les coefficients de régression de chaque catégorie d'exploitation ont été testés à l'aide d'un test *t* tendant vers 0 resp. tendant vers -0,36 mg NO₃⁻/l et an. Lorsque le coefficient de régression ne diffère pas de 0 mg NO₃⁻/l et an, cela signifie qu'une baisse éventuelle de la teneur en nitrates n'est que le fait du hasard. Une baisse de 0,36 mg NO₃⁻/l et an correspond à l'objectif de réduction de 5 mg NO₃⁻/l en 14 ans. Pour répondre à la troisième question, on a effectué une simple analyse de variance avec les coefficients de régression des deux catégories d'exploitation «Agriculture» et «Forêts».

Evolution des teneurs en nitrates

Dans les 214 captages, dont le bassin versant est exploité exclusivement ou au moins partiellement à des fins agricoles, la teneur en nitrates était en moyenne de 18 mg NO₃⁻/l pendant la période 1999–2001 (tab. 2). Sur le Plateau, la teneur était de 27 mg NO₃⁻/l, soit au-dessus de la moyenne de l'ensemble du canton. Dans le Jura et notamment dans les Alpes par contre, la valeur était de 8 resp. 3 mg NO₃⁻/l, soit nettement en dessous de la moyenne du canton.

Dans les 49 captages dont le bassin versant était composé de forêts et de surfaces sans végétation, la teneur en nitrates s'élevait seulement à 7 mg NO₃⁻/l en moyenne. Par ailleurs, les différences entre les régions étaient nettement moins marquées.

Sur le Plateau, environ 10 % des captages dont le bassin versant était exploité à des fins agricoles dépassaient la valeur de tolérance de 40 mg NO₃⁻/l. Plus de la moitié dépassaient

Tableau 2. Teneurs moyennes en nitrates dans les captages avec ou sans influence agricole dans le bassin versant.

Catégorie d'exploitation	Nombre de captages	Teneur en nitrates (mg NO ₃ ⁻ /l)				
Région		1990–1992	1993–1995	1996–1998	1999–2001	Diffé- renz ¹⁾
Agriculture	214	19,6	20,2	18,6	17,9	-1,8
Alpes	47	2,4	2,6	2,8	2,5	0,1
Préalpes	63	21,3	21,4	19,1	18,2	-3,1
Plateau	93	28,5	29,7	27,3	26,6	-1,9
Jura	11	8,7	9,0	9,3	8,1	-0,6
Forêts	49	7,5	7,6	7,5	7,2	-0,3
Alps	17	2,9	2,8	2,8	2,7	-0,2
Préalpes	13	11,5	11,7	11,6	10,7	-0,9
Plateau	16	9,9	10,3	9,7	9,5	-0,4
Jura	3	3,3	3,3	5,1	5,0	1,7

¹⁾ Différence entre les périodes 1990–92 et 1999–2001

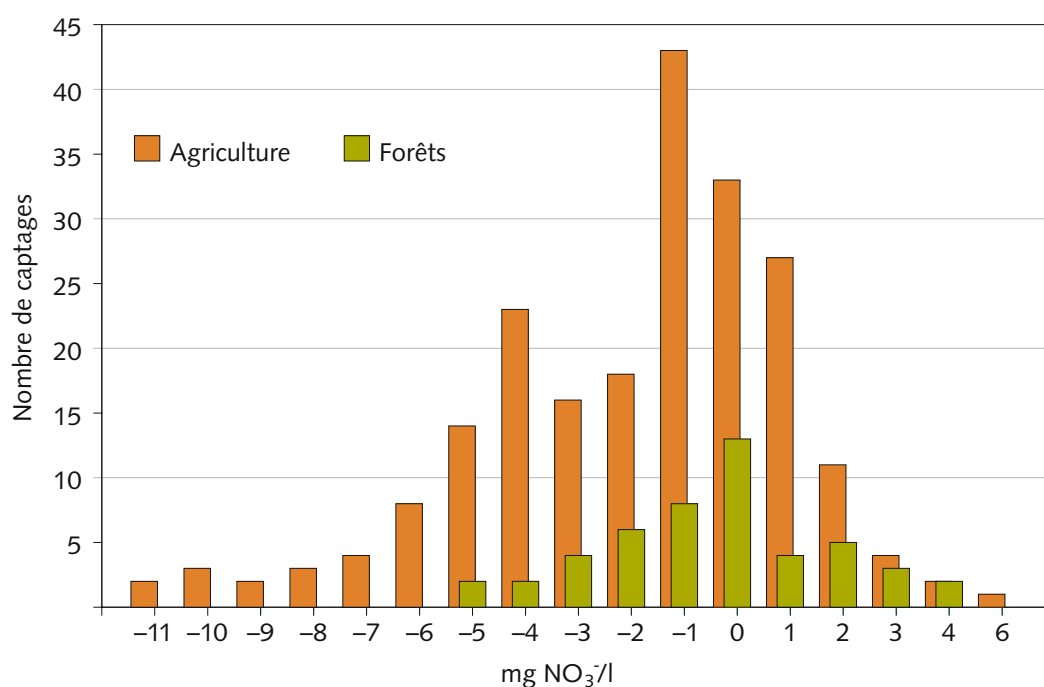


Figure 2:
Nombre de captage
d'après les hausses
ou les baisses de la
teneur en nitrates
entre les périodes
1990–92 et 1999–
2001.

l'exigence numérique de 25 mg NO₃⁻/l définie dans l'Ordonnance sur la protection des eaux. Dans les Préalpes, seul un sixième des captages dépassait l'exigence numérique. Dans le Jura et dans les Alpes, ainsi que dans la catégorie d'exploitation «Forêts», les moyennes de la période 1999–2001 étaient inférieures à 25 mg NO₃⁻/l dans tous les captages.

Entre les périodes 1990–92 et 1999–2001, la teneur moyenne en nitrates des captages dont le bassin versant est exploité à des fins agricoles n'a que légèrement varié. En moyenne, on a pu observer une baisse de 1,8 mg NO₃⁻/l (tab. 2), qui résulte d'une légère augmentation entre 1990–92 et 1993–95, suivie d'une baisse un peu plus prononcée jusqu'à la dernière période de 1999–2001. L'amplitude de variation des hausses et des baisses réparties par catégorie sur l'ensemble de la période est vaste (fig. 2). Tandis que la teneur en nitrates a enregistré une baisse allant jusqu'à 11 mg NO₃⁻/l dans la majorité des captages, elle est restée constante dans le reste des captages ou a même enregistré une augmentation allant

jusqu'à 6 mg NO₃⁻/l. Dans la catégorie d'exploitation «Forêts», on n'a constaté dans l'ensemble qu'une baisse minimale de 0,3 mg NO₃⁻/l. Toutefois, dans ces captages, les teneurs moyennes en nitrates étaient deux fois moins élevées que dans les captages dont le bassin versant est exploité à des fins agricoles (tab. 2).

Dans le réseau de mesure NAQUA (chap. 4), on a observé une évolution temporelle des valeurs de nitrates semblable à celle relevée dans le canton de Berne. La teneur moyenne en nitrates a baissé de 1,6 mg/l entre 1989–90 et 1999–2001 et a également atteint son apogée au milieu des années 1990.

La teneur en nitrates des captages dont le bassin versant est exploité à des fins agricoles et qui affichaient une valeur initiale supérieure à 30 mg NO₃⁻/l pendant la période 1990–92, a diminué en moyenne de 3,5 mg NO₃⁻/l, soit une baisse de 7 %. Dans les captages où la valeur initiale était comprise entre 10 et 30 mg NO₃⁻/l, la baisse moyenne était moins marquée et s'élevait à 2,5 mg NO₃⁻/l. Avec 11 %, la baisse relative était néanmoins plus importante. Dans certains captages de ce groupe, on a observé de fortes baisses (fig. 3).

Le test t contre 0 mg NO₃⁻/l et an indique que seule la baisse de la teneur en nitrates dans la catégorie d'exploitation «Agriculture» sur le Plateau et dans les Préalpes était statistiquement significative (p < 0,001; fig. 4). Le test t contre –0,36 mg NO₃⁻/l et an a permis de constater que si la tendance restait constante, l'objectif de réduction de la teneur en nitrates de 5 mg NO₃⁻/l pourrait sans doute être atteint dans les Préalpes, mais pas sur le Plateau. L'analyse de variance simple a montré que les deux catégories d'exploitation «Agriculture» et «Forêts» ne se distinguaient que dans les Préalpes. Une telle différence montre que la baisse de la teneur en nitrates peut être associée à des modifications du mode d'exploitation agricole. Outre les mesures écologiques, d'autres mesures de politique agricole peuvent également avoir motivé un changement. Une diminution des marges brutes suite à une modification des conditions cadres de l'économie et de la politique agricole peut

Figure 3:

Relation entre la teneur en nitrates durant les périodes 1990–92 et 1999–2001 pour les captages dont le bassin versant est exploité à des fins agricoles. Un captage dont la valeur initiale était de 72 mg NO₃⁻/l n'a pas été représenté.

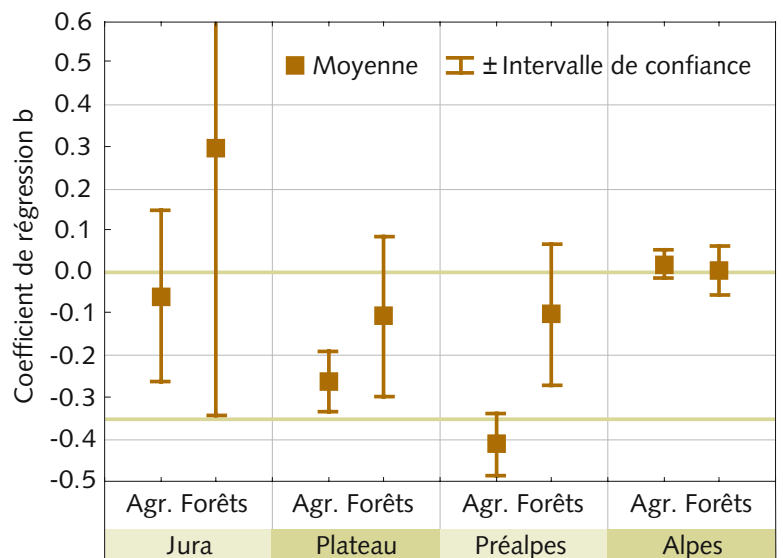
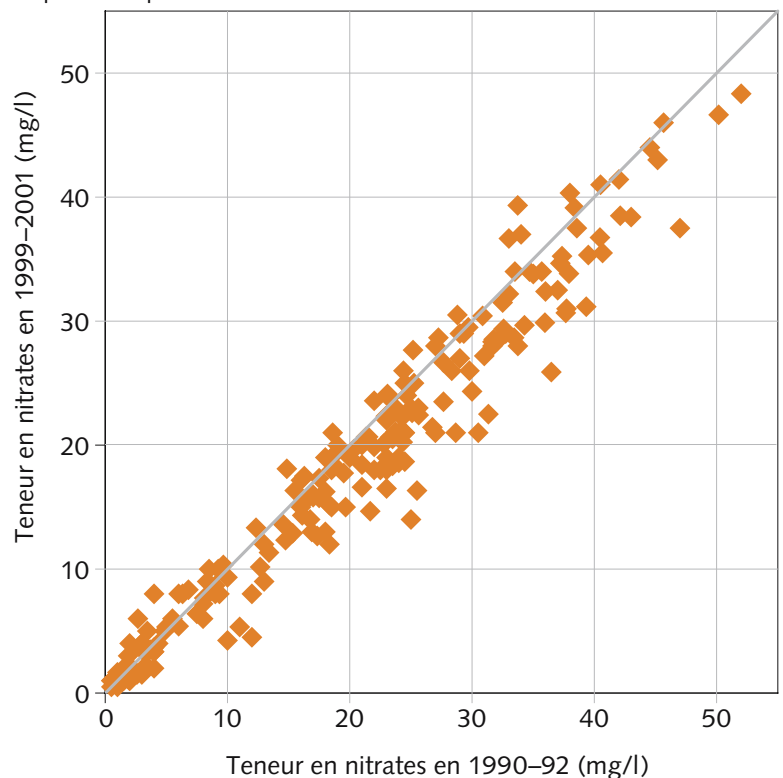


Figure 4:

Coefficients de régression des différents groupes de captages d'eaux souterraines. La ligne à 0 représente l'état pour une teneur de nitrates constante pendant toute la période, la ligne à –0,36 représente la valeur cible, soit une baisse de 5 mg NO₃⁻/l en 14 ans. Lorsque l'intervalle de confiance de 95 % de deux catégories ne se recoupe pas, la différence est statistiquement significative.

Tableau 3. Réduction estimée de la lixiviation des nitrates entre 1990 et 2000 suite à différents facteurs d'influence (en % de la quantité de N lessivée en 1990 sous toutes les surfaces et sous les terres assolées).

Facteur d'influence	Toutes les surfaces	Terres assolées
Modification de la répartition des cultures dans les grandes cultures	4 %	7 %
Réduction de l'utilisation des engrais azotés dans les grandes cultures	4 %	7 %
dans les céréales et le colza extenso	< 1 %	1-2 %
Augmentation des cultures dérobées	3 %	6 %
Réduction des retombées atmosphériques d'azote	1 %	< 1 %
Extensification de la production fourragère	< 1 %	--

en partie expliquer le changement de la répartition des cultures (p. ex. réduction de la production de céréales).

La modification des habitudes alimentaires a en outre conduit à une baisse de la consommation de viande, d'où une réduction des effectifs d'animaux et donc une chute de la part de N dans les engrais de ferme. Grâce à l'accroissement de la productivité agricole, p. ex. à l'augmentation de la production laitière par vache, il faut moins de vaches pour produire la même quantité de lait. Les vaches prises séparément éliminent certes un peu plus d'azote, mais comme leur nombre est plus réduit, l'apport total d'azote via les engrais de ferme baisse.

Causes de la baisse des teneurs en nitrates

Le calcul de la lixiviation des nitrates sous les surfaces agricoles et non agricoles du canton de Berne à l'aide du modèle de flux de matières MODIFFUS a permis de constater une baisse d'environ 12 % entre 1990 et 2000 (Spiess et Prasuhn 2005). La modification de la répartition des grandes cultures, c.-à-d. la mise en place croissante de cultures engendrant une plus faible lixiviation des nitrates, ainsi que l'utilisation plus limitée des engrais azotés dans les grandes cultures ont largement contribué à cette réduction, à raison de 4 % chacune (tab. 3). Par ailleurs, la mise en place accrue de cultures dérobées, les retombées atmosphériques plus faibles, ainsi que les herbages extensifs et peu intensifs ont également contribué à réduire la lixiviation des nitrates.

Réalisation de l'objectif

Lors de l'interprétation des résultats, il faut tenir compte du fait que l'eau qui s'infiltre dans le sol a besoin en moyenne de plusieurs années avant d'arriver dans un captage. C'est pourquoi les effets des mesures écologiques introduites en 1993 sur la teneur en nitrates de l'eau potable ne peuvent se faire sentir qu'avec un décalage de quelques années.

Dans les Préalpes et sur le Plateau, la teneur en nitrates des captages dont le bassin versant est utilisé à des fins agricoles a baissé de manière significative entre les périodes 1990–92 et 1999–2001 (fig. 4). Toutefois, seules les Préalpes affichaient un recul significativement supérieur à celui de la catégorie «Forêts», recul qui leur permettrait d'atteindre l'objectif fixé si la tendance reste constante jusqu'en 2005. Sur le Plateau, la baisse était certes significative, mais pas assez forte. Dans cette région, l'objectif de réduction ne pourra sans doute pas être atteint. Sur le Plateau, on n'a constaté aucune différence entre les deux catégories d'exploitation «Agriculture» et «Forêts». Ce phénomène est éventuellement dû

au fait que les captages dont le bassin versant est situé dans des régions boisées et sans végétation ne sont pas tout à fait hors de l'influence agricole. Les émissions d'ammoniac qui proviennent de l'agriculture contribuent en effet aux retombées atmosphériques d'azote dans les forêts et les surfaces sans végétation. De leur côté, les retombées atmosphériques d'azote sont un facteur d'influence important de la lixiviation des nitrates dans le sous-sol de ces surfaces. Dans le Jura, la teneur en nitrates n'a dépassé 10 mg NO₃⁻/l que dans un petit nombre de captages. Il devrait donc être très difficile d'atteindre l'objectif fixé dans cette région. Dans les Alpes, la valeur initiale pour la période 1990–92 était déjà pratiquement inférieure à 5 mg NO₃⁻/l dans presque tous les captages. Une réduction de 5 mg NO₃⁻/l apparaît donc tout à fait impossible ici. Or, pour que l'objectif puisse être atteint dans l'ensemble du canton de Berne, la teneur en nitrates devrait donc baisser de plus de 5 mg NO₃⁻/l sur le Plateau et dans les Préalpes.

Depuis quelques années, l'Office fédéral de l'agriculture s'efforce à obtenir une teneur en nitrates inférieure à 40 mg NO₃⁻/l dans 90 % des captages d'eaux souterraines (Feuille fédérale 2002). Cet objectif a été rempli et nettement dépassé dans les régions du Jura, des Préalpes et des Alpes entre 1990 et 2001 (tab. 4). Sur le Plateau par contre, l'objectif a été atteint de justesse uniquement pendant la période 1999–2001. Depuis 1990, un nombre inconnu de captages d'eaux souterraines a été mis hors service pour cause de trop fortes teneurs en nitrates. Une partie de ces captages n'est plus testée et n'a donc pas pu être prise en compte dans notre évaluation. Du fait de cette pratique, l'objectif n'a donc été atteint que de manière purement formelle.

Tableau 4. Pourcentage des captages d'eaux souterraines, dont le bassin versant est utilisé à des fins agricoles, qui présentaient une teneur moyenne en nitrates supérieure à 40 mg NO₃⁻/l durant une période d'études.

Région	Nombre de captages	Pourcentage des captages			
		1990–92	1993–95	1996–98	1999–01
Total	214	6 %	10 %	6 %	4 %
Jura	11	0 %	0 %	0 %	0 %
Plateau	93	13 %	19 %	12 %	10 %
Préalpes	63	2 %	5 %	2 %	0 %
Alpes	47	0 %	0 %	0 %	0 %

Conclusions

Sachant que l'excédent d'azote de l'agriculture suisse est en recul déjà depuis 1980 et qu'en 2000, il avait baissé d'environ un quart, passant de 152'000 t N à 113'000 t N (chap. 3), la baisse de la teneur en nitrates, qui a été observée, ne peut pas être imputée uniquement aux mesures écologiques. Suite au recul de l'excédent d'azote, les pertes d'azote ont elles aussi dû chuter considérablement, car l'enrichissement accru de l'azote dans le sol comme l'unique autre cause de baisse est peu probable. L'azote se perd essentiellement via la volatilisation de l'ammoniac, la dénitrification et la lixiviation des nitrates. Entre 1980 et 2000 sur l'ensemble de la Suisse, les pertes d'ammoniac et de gaz hilarant ont reculé d'environ un quart (Menzi *et al.* 1997 et chap. 7; Schmid *et al.* 2000 et chap. 8). Les pertes de nitrates provenant de l'agriculture devraient donc elles aussi avoir reculé d'un quart suite à la baisse de l'excédent d'azote.

Cette règle s'applique-t-elle à la teneur en nitrates des eaux souterraines du canton de Berne? C'est un point difficile à évaluer. Premièrement, étant donné l'absence de bilans régionaux d'éléments nutritifs, on ne sait pas si l'excédent d'azote a également reculé d'un quart dans le canton de Berne. Deuxièmement, le canton de Berne ne dispose d'aucune série de données représentatives sur les nitrates remontant jusqu'en 1980. On ne sait donc

pas non plus en quelle année, la teneur moyenne en nitrates était la plus élevée. Sur la base des résultats de la présente étude et d'autres études encore (chap. 4), on peut supposer que la teneur en nitrates a atteint son apogée au milieu des années 1990. Si l'on part du principe que l'excédent agricole d'azote et les pertes de nitrates qui en résultent ont baissé d'un quart dans le canton de Berne entre 1980 et 2000, que la part de l'agriculture dans la lixiviation totale des nitrates représente environ 70 % (Prasuhn et Mohni 2003) et que les apports de nitrates dans les eaux souterraines, qui ne sont pas dus à l'agriculture, sont restés constants, la teneur moyenne en nitrates devrait alors avoir reculé de 3 à 4 mg NO₃⁻/l au total. D'après ces hypothèses, l'objectif d'une réduction moyenne de 5 mg NO₃⁻/l d'ici 2005 ne devrait donc vraisemblablement pas être complètement atteint. Les résultats du réseau de mesures NAQUA_{SPEZ} (chap. 4), qui montrent une baisse moyenne importante d'environ 2 mg NO₃⁻/l entre 1999–2001 et 2002–03, permettent de supposer que les teneurs en nitrates ont également continué à baisser dans le canton de Berne ces dernières années.

Remerciements

Je remercie U. Lienhard (Laboratoire cantonal, Berne) et F. Muchenberger (Office de l'économie hydraulique et énergétique, Berne) pour la livraison des données et pour les précieuses discussions que nous avons eues. H.-R. Roth (EPFZ) et H.-R. Oberholzer (FAL) m'ont conseillé pour l'évaluation statistique et je tiens à les en remercier. Enfin, je souhaite remercier tout particulièrement mes anciens collègues M. Braun et C. Wüthrich, qui ont fait preuve de beaucoup d'engagement lors du lancement de ce projet.

Bibliographie

- Braun M., Hurni P. et Spiess E., 1994. Phosphor- und Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft und Para-Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAC Liebefeld 18. 70 S.
- Braun M., Wüthrich-Steiner C., Spiess E., Stauffer W. et Prasuhn V., 1998. Wirkungskontrolle der Öko-Massnahmen im Gewässerschutz. Agrarforschung 5, 129–132.
- Feuille fédérale, 2002. Message concernant l'évolution future de la politique agricole (Politique agricole 2007) du 29 mai 2002. Chancellerie fédérale, FF V (02.046), 4395–4682.
- Forni D., Gujer H.-U., Nyffenegger L., Vogel S. et Gantner U., 1999. Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme. Agrarforschung 6, 107–110.
- Menzi H., Frick R. et Kaufmann R., 1997. Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Schriftenreihe der FAL 26. 107 S.
- Muchenberger F., 1999. Grundwasserfassungen des Kantons Bern. Datenbank auf elektronischem Datenträger.
- OFEFP, 1993. Situation der Trinkwasserversorgung. Schriftenreihe Umwelt Nr. 212. Berne, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 128 S.
- Prasuhn V. et Mohni R., 2003. GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. Interner Bericht. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz. 223 S. <http://www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/umwelt/wasser/wasser.html>
- Schmid M., Neftel A. et Fuhrer J., 2000. Lachgasemissionen aus der Schweizer Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAL 33. 131 S.
- Spiess E., 1999. Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 1995. Schriftenreihe der FAL 28. 46 S.
- Spiess E. et Prasuhn V., 2005. Weniger Nitrat im Grundwasser dank Ökomassnahmen. Agrarforschung (in Vorbereitung).