

Développement des émissions azotées dans l'agriculture jusqu'en 2020

Simon Peter, Institute for Environmental Decisions IED, ETH Zurich
Renseignements: Simon Peter, e-mail: simonpeter@ethz.ch, tél. +41 44 632 48 28



Protection de l'environnement, bien-être des animaux, rentabilité et réduction de la charge de travail; il n'existe malheureusement aucune mesure de réduction des émissions azotées qui influence positivement tous ces objectifs. Dès lors, l'application d'une mesure exige toujours une étude préalable de tous ses effets.

Introduction

L'offre en azote (N) est un facteur limitant dans la constitution du rendement des cultures agricoles. De ce fait, l'apport d'azote détermine dans une large mesure le rendement des plantes. Une partie de l'azote introduit dans l'agriculture rejoint la matière organique des produits végétaux et animaux ou celle des sols. Une autre partie est, aux yeux de l'agriculture, improductive et perdue – soit sous forme d'azote élémentaire (N_2), non problématique pour l'environnement, soit dans des formes

nuisibles à l'environnement comme l'ammoniaque (NH_3), le nitrate (NO_3), le protoxyde d'azote (N_2O) ou les oxydes d'azote (NO_x) (OFAG, 2008). L'agriculture est, au niveau suisse, la principale émettrice de trois de ces formes d'azotes nuisibles à l'environnement: l'ammoniaque, le nitrate et le protoxyde d'azote. Par conséquent, l'agriculture porte une responsabilité particulière pour réduire les émissions azotées nuisibles à l'environnement, parmi lesquelles l'ammoniaque et le nitrate sont les plus importantes, d'un point de vue purement quantitatif (fig. 1).

Lacunes existantes

L'Office fédéral de l'environnement OFEV et l'Office fédéral de l'Agriculture OFAG ont formulé, pour l'agriculture, des objectifs environnementaux dans divers domaines importants, qui découlent de lois, d'ordonnances, d'accords internationaux ou de décisions du Conseil fédéral. Le rapport Objectifs environnementaux pour l'agriculture (OFEV/OFAG 2008) démontre qu'il existe, précisément dans le domaine des émissions azotées agricoles, des lacunes parfois importantes entre les objectifs environnementaux fixés légalement et la situation actuelle. Pour l'ammoniaque par exemple, les émissions générées par l'agriculture devraient presque être divisées par deux, passant d'environ 48 kt N actuellement (Kupper *et al.* 2009) à 25 kt N (OFEV/OFAG 2008), pour éviter une incidence nuisible substantielle dans les écosystèmes sensibles. Les objectifs pour la fraction nationale de nitrate comportent également des lacunes importantes.

Vu cette situation, l'OFAG a mandaté le groupe d'économie agraire, alimentaire et environnementale de l'EPFZ pour effectuer une étude quantitative (Peter *et al.* 2010). Le travail doit fournir des bases décisionnelles pour définir des objectifs intermédiaires dans le domaine de l'azote qui pourraient être visés de manière réaliste en 2020. Ceci en considérant les objectifs environnementaux de l'agriculture (OEA) à long terme, ainsi que les coûts générés et les conséquences probables sur la production agricole. »

Résumé

L'agriculture est la principale émettrice d'ammoniaque, de nitrate et de protoxyde d'azote – trois liaisons azotées réactives. Elle porte donc une responsabilité particulière dans la réduction des émissions azotées nuisibles à l'environnement. D'autant plus que les lacunes sont parfois importantes entre les objectifs environnementaux fixés par les textes de loi et la situation actuelle. Cet article établit les objectifs intermédiaires agro-écologiques dans le domaine de l'azote qui peuvent être visés pour 2020. Dans l'étude menée, des mesures de réduction d'ordre technique et organisationnel ont été implémentées dans un modèle d'allocation agro-économique. Ce modèle a permis de calculer le potentiel d'une réduction des émissions dans l'agriculture ainsi que ses coûts spécifiques pour le secteur. Les résultats montrent que les mesures choisies dans le cadre du programme sur l'utilisation durable des ressources naturelles de la «PA 2011» permettent d'espérer une réduction maximale d'environ 10 % des émissions d'ammoniaque, de nitrate et des autres émissions azotées nuisibles à l'environnement. Sans mesures additionnelles, des réductions supplémentaires ne semblent atteignables que par l'extensification et le recul de la production, engendrant d'importants effets indésirables sur le revenu agricole. Dès lors, les objectifs intermédiaires à fixer pour 2020 dépendent largement du potentiel de mesures de réduction supplémentaire réalisables encore non considérées jusqu'à présent. L'atteinte des objectifs formulés à long terme devrait rester encore longtemps un défi pour la recherche, la politique et la pratique.

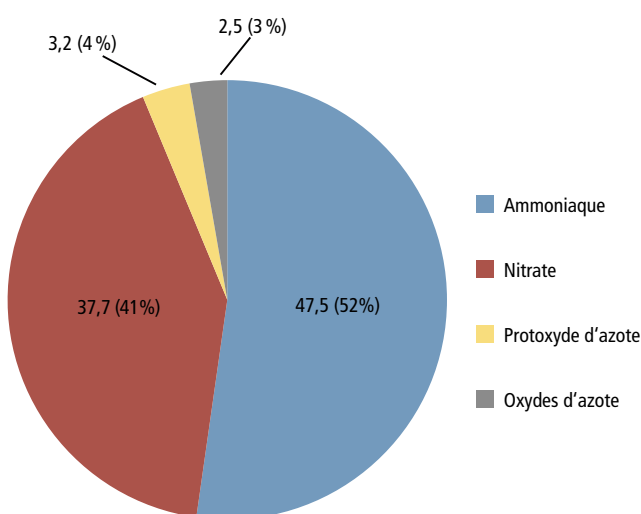


Figure 1 | Pertes d'azote nuisibles à l'environnement dans l'agriculture suisse en 2007. Source: Kupper *et al.* (2009) et calculs personnels (Peter *et al.* 2010).

Tableau 1 | Mesures prises en compte pour réduire les émissions d'ammoniacque et estimation du degré d'application. Source: Peter et al. (2010)

Mesure	Indicateur		Degré d'application				
			2000	2007	2020		
					Worst	Référence	Best
Épandage à tuyaux souples (pendillards)	Part de l'épandage à tuyaux souples	[% du lisier]	9%	13%	25%	38%	58%
Fourrage à faible concentration en azote (N) et phosphore (P) (Fourrages NPr)	Part de fourrages NPr dans la production porcine	[% de l'effectif]	0%	47%	70%	80%	95%
Couverture du creux à lisier	Part couverte (solide/perf.)	[% du lisier]	84%	82%	83%	84%	88%
	Part ouverte	[% du lisier]	16%	18%	16%	13%	7%
	Part couverture flottante	[% du lisier]	0%	0%	1%	3%	5%
Dilution du lisier	Dilué 1:1	[% du lisier]	100%	100%	100%	100%	100%
	Dilué 1:2 ou 1:3	[% du lisier]	0%	0%	0%	0%	0%
Système d'écurie pauvre en NH ₃	Stabulation libre pauvre en NH ₃ pour vaches	[% des stabulations libres]	0%	0%	5%	10%	15%
	Porcherie pauvre en NH ₃	[% des porcheries]	0%	0%	10%	15%	20%
Epandage du lisier	La journée	[% du lisier]	84%	81%	90%	85%	80%
	Le soir (après 18h00)	[% du lisier]	16%	19%	10%	15%	20%
Incorporation du fumier	Jusqu'à 1 jour après l'épandage	[% du fumier]	21%	24%	21%	29%	40%
	Après plus d'1 jour après l'épandage	[% du fumier]	79%	76%	79%	71%	60%
Système d'écuries du bétail laitier	Part de stabulations libres et de stabulations entravées		Développements endogènes au modèle, dépendant des conditions cadres économiques				
Gestion des pâtures	Part de non pâture, de pâture partielle ou de pâture intégrale						
Utilisation d'aliments concentrés	Part de 6%, 20% ou 30% du besoin en énergie (bétail laitier)						
Performance laitière	Part de 5000 kg, 7000 kg ou 9000 kg de la performance annuelle						
Cultures dérobées	Surfaces cultivées						

Matériel et méthode

Modèle

Le modèle d'allocation agro-économique S_INTAGRAL (Peter 2008) a été utilisé pour les considérations quantitatives. Ce modèle prend en compte les activités importantes de la production végétale et animale, ainsi que la dynamique spécifique au système de l'agriculture (par exemple le développement de la capacité des écuries ou des effectifs d'animaux, les bilans d'affouragement et de fumure, etc.). Le modèle a été complété avec un choix de mesures de réduction techniques et organisationnelles, afin d'évaluer leur potentiel de réduction sur le plan national (par exemple utilisation de rampe d'épandage à pendillards). Le calcul des émissions se base pour l'ammoniacque sur la méthodique développée par la HESA (Kupper et al. 2009) et, pour les nitrates, sur l'approche spécifique aux cultures d'Agroscope ART (Braun et al. 1994), qui intègre divers facteurs de correction pour des paramètres d'influence supplémentaires (par exemple cultures dérobées ou pâture; Spiess et Prasuhn 2006).

Prix et paiements directs

Les résultats du modèle se basent sur un scénario où les prix des produits agricoles restent stables par rapport à aujourd'hui. Les paiements directs s'orientent sur le système «PA 2011». Par conséquent, dans la présente analyse, aucune réflexion actuelle sur le développement du système des paiements directs (DPD) n'est prise en compte.

Choix des mesures

L'ensemble des mesures techniques et organisationnelles considéré dans le modèle (tabl. 1) correspond à peu près au catalogue de mesures du programme sur l'utilisation durable des ressources naturelles de la «PA 2011» pour la réduction des émissions d'ammoniacque. Cela signifie que toutes les mesures discutées dans la littérature (par exemple Keck et al. 2006) n'ont pas été prises en compte, soit parce qu'elle ne sont pas encore applicables dans la pratique, soit parce qu'il manque encore une base de données suffisantes pour les caractériser.

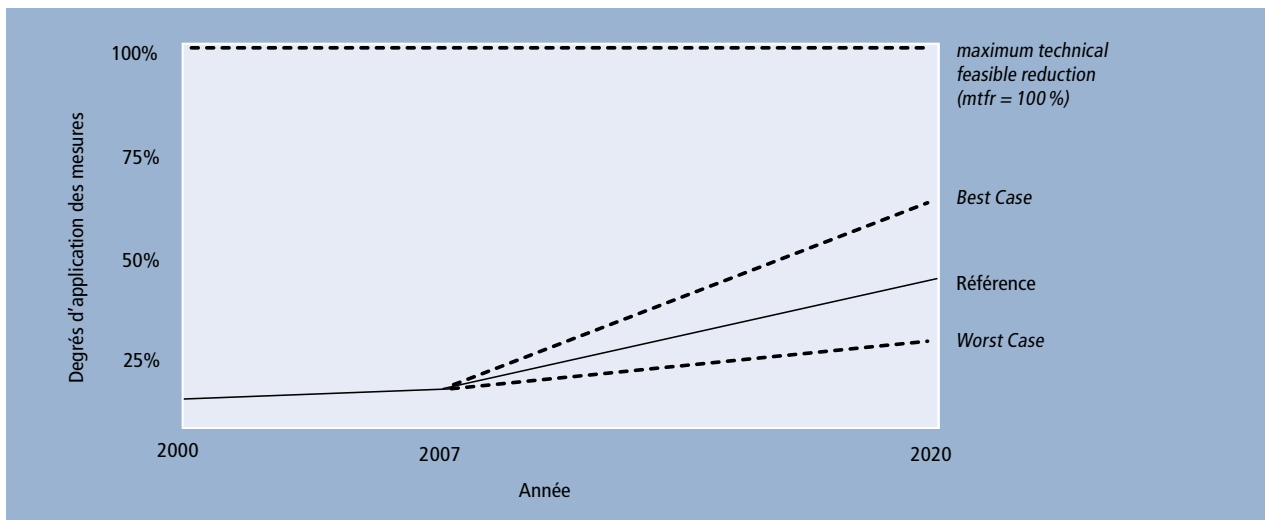


Figure 2 | Degré d'application de l'épandage à pendillards dans le scénario Référence, Best Case et Worst Case. Source: Peter et al. (2010)

Pour réduire les émissions de nitrate, il n'existe pratiquement pas de mesure technique simple comme l'épandage à pendillards. Ici, le moyen le plus efficace est d'adapter la production agricole (gamme des produits) de manière adéquate (par exemple moins de grandes cultures, davantage de cultures dérobées, utilisation plus extensive des prairies).

Application des mesures

Comme le degré d'application en 2020 des mesures choisies contient certaines incertitudes, les experts techniques de l'OFAG et de la HESA ont défini trois scénarios avec différents degrés d'application (tabl. 1). Pour simplifier, le scénario Référence admet un développement temporel linéaire pour chaque mesure prise en compte. C'est le développement qui semble actuellement le plus probable, en considérant les incitations du programme sur l'utilisation durable des ressources naturelles. Le scénario Worst Case envisage une augmentation pessimiste des mesures de réduction choisies, et le scénario Best Case une diffusion optimiste de ces mesures à l'horizon 2020 (fig. 2, exemple pendillards).

La figure 2 montre le degré d'application de l'épandage à pendillards. Le scénario Best Case ne représente pas le potentiel de mise en pratique technique maximale

(*maximum technical feasible reduction, mtr*), mais l'augmentation maximale du degré d'application des mesures prises en compte jusqu'en 2020 que l'on peut admettre. C'est un élément important pour interpréter les résultats du modèle.

Résultats et discussion

Développement des émissions

Le scénario Best Case (fig. 3) montre un recul des émissions d'ammoniaque de 11 % (5,3 kt N) en 2020 par rapport à 2007. Cependant, seuls 3,9 kt NH₃-N de ce recul sont à attribuer aux mesures de réduction. Les 1,4 kt restants (25 % du recul des émissions) sont engendrés par le léger recul de l'effectif bovin dû aux progrès de la génétique dans la production laitière jusqu'à 2020. Les émissions de nitrate ne sont guère influencées par les mesures considérées, car ces dernières influencent avant tout les émissions d'ammoniaque. Pour cette raison, le flux de nitrate reste, dans tous les scénarios, à environ 33,5 kt NO₃-N (diminution de 4 kt ou 10 % par rapport à 2007). Le recul des émissions de nitrate s'explique par i) la baisse des surfaces de cultures des céréales fourragères et du maïs grain, ii) l'augmentation des surfaces de compensation écologique et iii) la diminution de l'utilisation

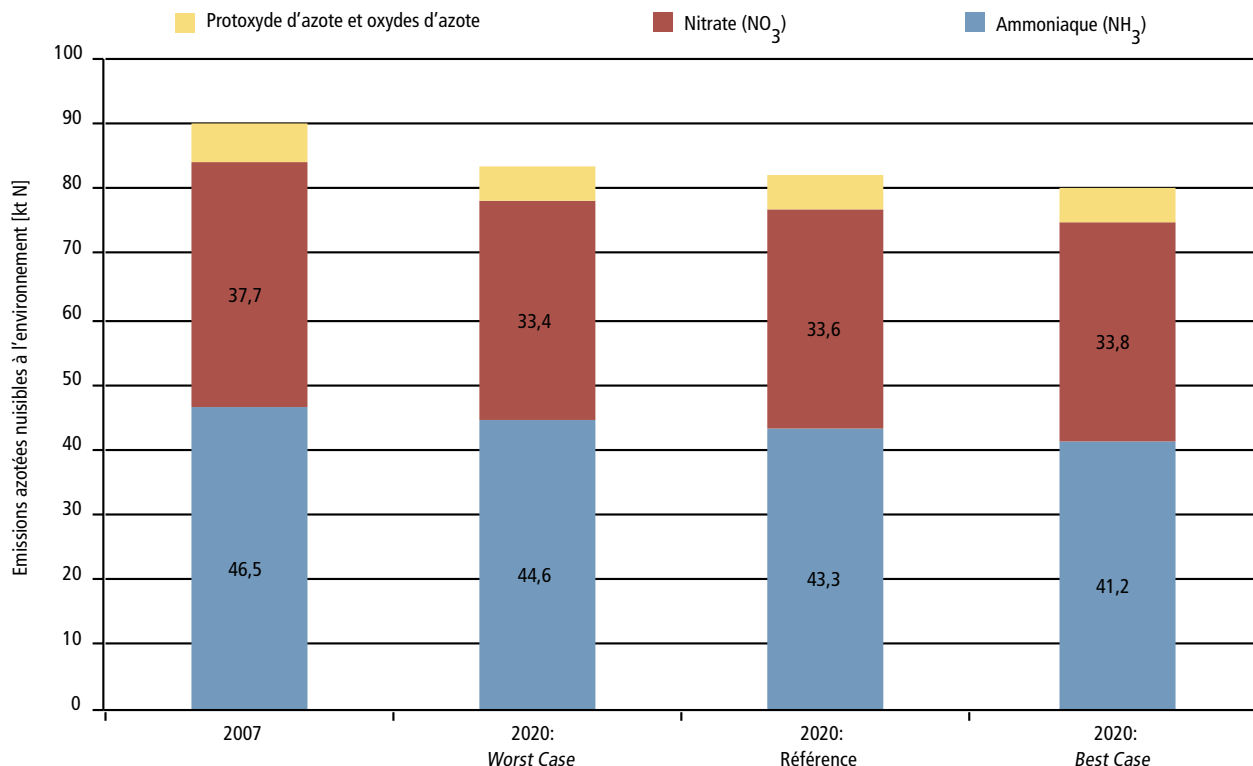


Figure 3 | Développement des émissions dans les scénarios Référence, Worst Case et Best Case. Source: Peter et al. (2010)

des engrais minéraux liée à la baisse des surfaces de grandes cultures. Ainsi, la somme des pertes azotées nuisibles à l'environnement baisse également d'environ 11% (-9,5 kt N). Au total, la différence entre les émissions azotées nuisibles à l'environnement des trois scénarios est minime. Cela provient du fait que les hypothèses concernant le degré d'application des mesures fixées dans les scénarios Worst Case et Best Case s'écartent peu des hypothèses du scénario Référence (tabl. 1).

La baisse relativement faible (-10%) des émissions en 2020 s'explique par différents éléments:

- Certaines mesures applicables en pratique et économiques sont déjà appliquées actuellement, à un degré parfois élevé (83% des creux à lisier sont couverts, 50% des fourrages sont NPr, les rampes à pendillards sont utilisées pour 13% du lisier, etc.).
- Le potentiel d'application est inférieur à 100% en raison des contraintes topographiques, agronomiques et organisationnelles (par exemple rampes à pendillards, épandage du lisier le soir, incorporation immédiate du fumier, mise en pâture limitée en raison du manque d'arrondissement).
- La tendance à la conversion des stabulations entravées en stabulations libres, indésirable du point de vue des émissions d'azote, devrait se poursuivre à l'avenir.
- Certaines mesures ne peuvent pas être entreprises soudainement à des coûts raisonnables, mais uniquement lors du renouvellement des capacités de production (par exemple construction d'écuries pauvres en émissions).

Coûts de réduction

Comme les objectifs à long terme de réduction des émissions selon l'OFEV/OFAG (2008) dépassent largement une réduction de 10%, une analyse de sensibilité a permis de calculer à quels coûts une telle réduction pouvait être atteinte en 2020. Pour cela, les coûts de réduction marginaux, exprimés en perte de revenu par unité d'azote, ont été calculés.

Le tracé des coûts de réduction sur la figure 4 montre que, jusqu'à un recul de 10%, les émissions d'ammoniaque peuvent être réduites plus avantageusement (3–12 CHF/kg N) que les émissions de nitrate (10–12 CHF/kg N). En effet, les émissions d'ammoniaque peuvent être réduites à meilleur marché par les mesures de

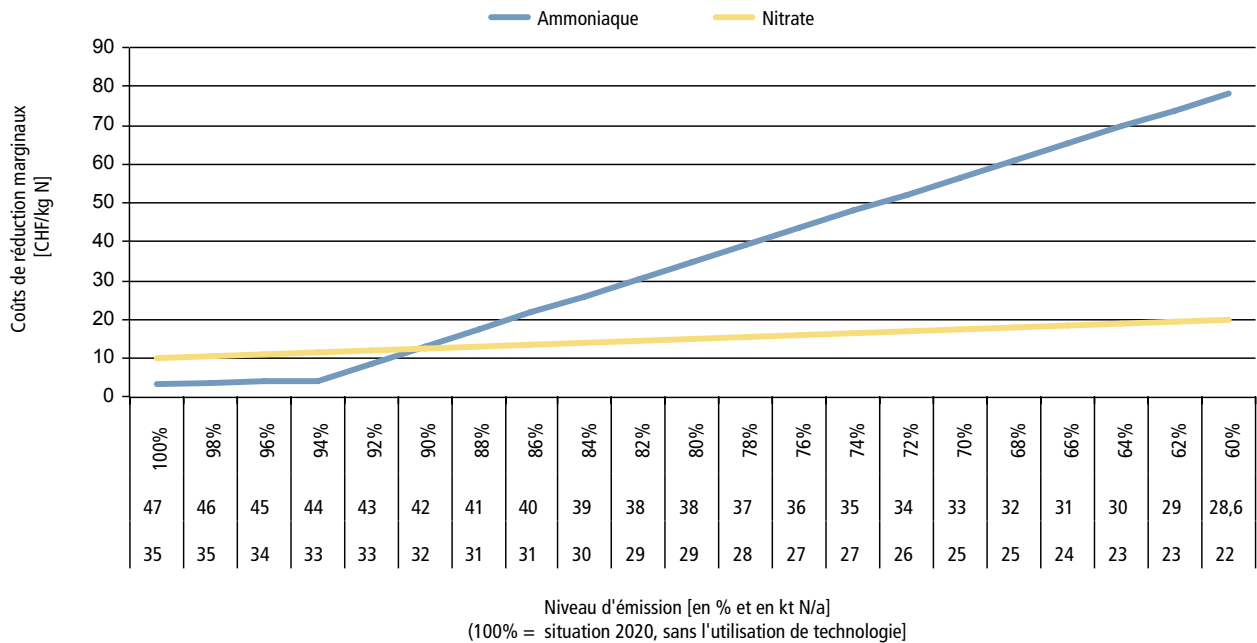


Figure 4 | Coûts sectoriels marginaux d'une réduction des émissions d'ammoniaque et de nitrate. Source: Peter et al. (2010)

réduction considérées, tandis qu'il n'existe aucune mesure à disposition pour réduire les émissions de nitrate. Cependant, dès que le potentiel des mesures de réduction d'environ 10 % est épuisé, dans le secteur de l'ammoniaque, les coûts de réduction augmentent beaucoup plus rapidement que ceux du nitrate et atteignent presque 80 CHF/kg N pour une réduction de 40 % des émissions. Cela représente une perte de 600 mio CHF/année pour l'ensemble du secteur. Par contre, les coûts de réduction d'une baisse de 40 % des émissions de nitrate n'atteignent que 20 CHF/kg N, soit 200 mio CHF par année.

Dès que le potentiel des mesures considérées dans le domaine de l'ammoniaque est épuisé, une réduction supplémentaire des émissions d'ammoniaque est plus coûteuse qu'une réduction des émissions de nitrate. Cela s'explique par le fait que, pour poursuivre la réduction des émissions d'ammoniaque, il faudrait démanteler une partie de la production animale à forte valeur ajoutée (effectifs bovins et/ou porcins), ce qui générerait des pertes de revenu. Au contraire, les émissions de nitrate peuvent être réduites de manière plus avantageuse. Cela se produit dans le modèle où des surfaces de grandes cultures intensives en émissions de nitrate sont converties en prairies plus extensives en azote. L'exploitation de prairies extensives est caractérisée par un

investissement plus faible en travail et en capital ainsi que par des paiements directs plus importants que pour les grandes cultures. De ce fait, la stratégie choisie de réduire les émissions de nitrates engendre une baisse plus faible du revenu agricole et des coûts de réduction plus faibles qu'une diminution équivalente des émissions d'ammoniaque.

Conclusions

Sans mesures techniques supplémentaires, une réduction substantielle des émissions de plus de 10 % par rapport à 2007 semble être accessible uniquement par une extensification et un recul de la production. A partir de ce constat, les approches et technologies de réduction supplémentaires discutées dans la littérature prennent une importance centrale. En effet, la forte hausse des coûts de réduction dans le domaine de l'ammoniaque peut être retardée par des mesures additionnelles ou non considérées dans ce travail, d'autant plus si elles sont peu coûteuses et avec un potentiel d'application technique élevé. Pour évaluer ce potentiel supplémentaire, il est nécessaire de continuer la recherche, avec pour prochaine étape l'établissement d'une base de données complète et homologuée concernant le potentiel et les coûts de réduction de ces mesures.

Le potentiel de mesures supplémentaires est décisif

Il est clair que les objectifs intermédiaires à viser pour 2020 dépendent largement du potentiel supplémentaire estimé des mesures de réduction non considérées dans ce travail.

Sans un tel potentiel supplémentaire, une réduction des émissions doit s'opérer uniquement i) par les mesures techniques et organisationnelles considérées dans ce travail et ii) par un ajustement «automatique» de la production agricole avec la poursuite de la politique agricole actuelle (moins de cultures fourragères, plus de prairies extensives). Dans ce cas, les objectifs intermédiaires à formuler sont plutôt défensifs: une réduction d'environ 10 % par rapport à 2007 pour les pertes d'ammoniac, de nitrate et pour les pertes totales d'azote nuisibles à l'environnement, suivant les résultats du scénario *Best Case*.

Cependant, les objectifs de réduction en 2020 peuvent être d'autant plus offensifs si, a) le potentiel des mesures supplémentaires qui n'ont pas pu être considérées dans ce travail est étendu et b) la diminution admise de la production agricole augmente (p. ex. incitation à la diminution de la production dans les régions intensives en production animale).

L'objectif à long terme reste un défi

Même en considérant le potentiel de réduction d'ammoniac des mesures non considérées dans ce travail, il reste des lacunes importantes pour atteindre les objectifs à long terme de l'OEA (25 kt NH₃-N). Peut-être même trop importantes pour que ces objectifs puissent être remplis en conservant la production agricole actuelle. Cela est également valable pour la réduction des émissions de nitrate en l'absence de mesures simples de réduction techniques ne provoquant pas de conflit d'objectifs. C'est pourquoi une diminution substantielle des émissions dans ce domaine n'est accessible principalement qu'avec une forte conversion des surfaces de grandes cultures et des cultures fourragères en prairies naturelles. Et cela correspondrait avec une baisse sensible du taux d'auto-apvisionnement dans le domaine des grandes cultures.

Il est clair qu'il n'existe pas de réponse univoque à la question de quels sont les objectifs intermédiaires «corrects» pour 2020. En effet, les objectifs à fixer dépendent fortement, en plus du potentiel de réduction des mesures non considérées, de la façon dont sont appréciés et pesés les intérêts écologiques, agronomiques et d'économie nationale. C'est pourquoi la définition d'objectifs intermédiaires concrets dans le domaine de l'azote restera un objet du développement de la politique agricole et devrait s'effectuer avec la participation de toutes les institutions impliquées. ■

Bibliographie

- Braun M., Hurni P. & Spiess E., 1994. Phosphor- und Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft und Para-Landwirtschaft. *Cahiers de la FAC* 18, Liebefeld.
- Keck M., Schrade S. & M. Zähler, 2006. Minderungsmaßnahmen in der Milchviehhaltung. In: Emissionen der Tierhaltung. Messung, Beurteilung und Minderung von Gasen, Stäuben und Keimen. *KTBL-Schrift* 449, 211–227.
- Kupper T., Bonjour C., Achermann B., Zaucker F., Rihm B., Nyfeler-Brunner A., Leuenberger C. & Menzi H., 2009. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990–2007. Prognose bis 2020. Etude mandattée par l'Office fédéral de l'environnement, division Protection de l'air et RNI, section Qualité de l'air, 3003 Berne.
- OFAG 2008. Rapport agricole, Office fédéral de l'Agriculture, Berne.
- OFEV/OFAG, 2008. Objectifs environnementaux pour l'agriculture – A partir de bases légales existantes. Berne. 221 p
- Peter S., 2008. Modellierung agrarökologischer Fragestellungen unter Berücksichtigung struktureller Veränderungen in der Schweizer Landwirtschaft. Dissertation ETH-n° 17820. ETH Zurich.
- Peter S., Valsangiacomo A. & Weber M., 2010. «Stickstoff 2020» – Möglichkeiten und Einschränkungen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Stickstoffemissionen in der Schweiz. IAW-Schriftenreihe 2010/4 der Gruppe Agrar-, Lebensmittel- und Umweltökonomie, ETH Zürich.
- Spiess E. & Prasuhn V., 2006. Einfluss der Ökologisierung in der Landwirtschaft auf den Nitratgehalt des Grundwassers. *Bulletin de la Société suisse de Pédologie* 29, 21–26.

Riassunto**Previsioni di sviluppo delle emissioni d'azoto in agricoltura fino al 2020**

L'agricoltura è la principale emittente dei tre composti azotati reattivi: ammoniaca, nitrato e protossido d'azoto. Per questo motivo l'agricoltura ha una responsabilità particolare e deve preoccuparsi che queste emissioni siano ridotte, tanto più che in questo settore vi sono a volte notevoli lacune tra gli obiettivi imposti dalla legge e la situazione attuale. Nel presente articolo è posta la domanda, a quali obiettivi agroecologici intermedi, nell'ambito delle emissioni di azoto, sia possibile mirare entro il 2020. Questo studio ha implementato in un modello d'allocatione d'economia agraria, delle misure selezionate di riduzione nel campo tecnico-organizzativo. In questo modo è stato possibile calcolare il potenziale di una riduzione delle emissioni agricole e i suoi costi conseguenti settoriali-specifici. I risultati del modello mostrano che con le misure di riduzione esaminate nel contesto dei programmi delle risorse «PA2011», ci si può attendere una riduzione massima del 10 % d'ammoniaca, nitrato ed altre importanti emissioni con azoto. Senza misure aggiuntive, maggiori riduzioni sembrano essere raggiungibili unicamente attraverso produzioni meno intensive, rispettivamente diminuendo la produzione. Purtroppo, la conseguenza di questa riduzione provocherebbe un impatto indesiderato sul reddito dell'agricoltura. Per questa ragione, la valutazione del potenziale addizionale di misure non ancora considerate è di grande importanza quando si definiscono gli obiettivi intermedi per l'anno 2020. Il raggiungimento degli obiettivi a lungo termine rimarrà ancora per molto tempo una sfida per la ricerca, la politica e la pratica.

Summary**Development of agricultural nitrogen emission until 2020**

Agriculture is the main emitter of three reactive nitrogen (N) compounds: ammonia, nitrate and nitrous oxide. Therefore, the agricultural sector is especially in charge for contributing to the mitigation of environmentally harmful N emissions. This is even accentuated by the fact that considerable gaps can be observed between the long term goals stated by law and the current situation. In this article, we investigate which interim emission targets could be aimed for in the year 2020. To this end, we implemented selected mitigation practices into an already existing agricultural allocation model. We applied the model in order to assess the mitigation potential of an agricultural nitrogen reduction and the corresponding sector related abatement cost. Model runs show that only a 10 % reduction of ammonia, nitrate and the further N compounds can be expected until 2020, given the selected measures within the «Resources program» of the current agricultural policy regime. Without any additional mitigation measures, further emission reductions seem only to be attainable via an extensification or via a decline in agricultural production. But this would go along with undesired implications on sectoral income. The interim emission targets to be set for 2020 are therefore highly depending on the realizable potential of mitigation practices that have not been taken into account so far. However, the achievement of the stated long-term goals will remain a challenge for research, policy and praxis.

Key words: nitrogen emissions, mitigation practices, agriculture, abatement cost.