



08.07.2014

Document de base sur la pollution azotée

Air, sol, eau, biodiversité et climat

N° de référence: N282-2465

Contact:

Division Protection de l'air et produits chimiques

Section Qualité de l'air

3003 Berne

luftreinhaltung@bafu.admin.ch

Table des matières

1	INTRODUCTION.....	3
2	SOURCES ET RESPONSABLES DES ÉMISSIONS	5
3	ÉMISSIONS DE COMPOSÉS AZOTÉS.....	8
3.1	ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES	8
4	COMPOSÉS AZOTÉS DANS L'ENVIRONNEMENT	10
4.1	L'AZOTE DANS L'ATMOSPHÈRE	10
4.2	L'AZOTE DANS LES MILIEUX AQUATIQUES	13
5	EFFETS.....	15
5.1	EFFETS SUR LA SANTÉ HUMAINE.....	15
5.2	EFFETS SUR LES ÉCOSYSTÈMES ET LA BIODIVERSITÉ.....	15
5.3	EFFETS SUR LE SOL.....	17
5.4	EFFETS SUR LES EAUX SOUTERRAINES	19
5.5	EFFETS SUR LES MERS (MER DU NORD, MÉDITERRANÉE)	19
5.6	EFFETS SUR LE CLIMAT ET LA COUCHE D'OZONE STRATOSPHERIQUE	20
6	OBJECTIFS DE RÉDUCTION ET NÉCESSITÉ D'AGIR.....	21
6.1	PROTECTION DE L'AIR.....	21
6.2	PROTECTION DES EAUX	24
6.3	PROTECTION DES SOLS	26
7	CONCLUSIONS.....	27
8	BIBLIOGRAPHIE.....	28

1 Introduction

Sous ses différentes formes chimiques, l'azote est impliqué dans de nombreux problèmes environnementaux. Les composés azotés, qui parviennent dans l'atmosphère et dans les eaux du fait d'activités humaines et sont transportés sur des distances plus ou moins grandes, contribuent à l'acidification et à l'eutrophisation des sols, des nappes phréatiques, des eaux de surface et même des mers. Cet apport en substances azotées affecte les fonctions, la vitalité, la diversité biologique ainsi que la qualité d'un grand nombre d'écosystèmes fragiles. Les composés azotés jouent également un rôle important dans la formation de l'ozone proche du sol et d'autres agents photo-oxydants qui se forment en concentrations élevées, principalement pendant les périodes de smog estival. Ces polluants induits ont des effets néfastes sur la végétation et la santé humaine. Les composés azotés contribuent en outre à la formation d'aérosols secondaires, une composante des poussières fines respirables.

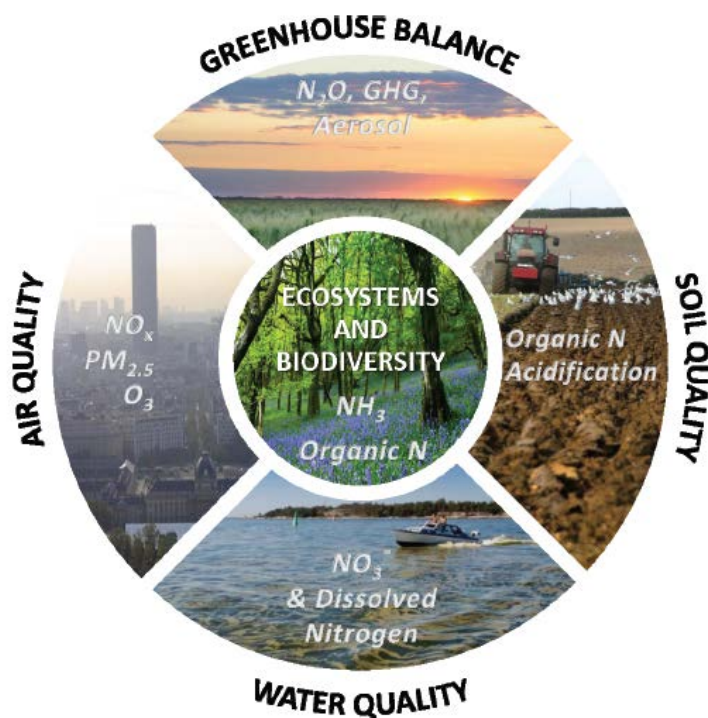


Fig. 1 : Conséquences de la pollution azotée : impact des composés azotés réactifs sur l'homme et sur l'environnement (Source : European Nitrogen Assessment 2011)

L'azote est l'élément chimique le plus présent dans l'air, où il se trouve essentiellement sous forme d'azote moléculaire non réactif (N_2). L'azote joue un rôle central dans le métabolisme de tous les êtres vivants, dans le cadre de la production d'acides aminés et de protéines. Seuls de rares processus naturels ou êtres vivants sont à même de transformer l'azote contenu dans l'air (N_2) en composés azotés réactifs et utilisables tels que l'ammonium (NH_4^+) ou le nitrate (NO_3^-). Les écosystèmes fonctionnent dès lors avec un minimum de composés azotés réactifs et de nombreux habitats et espèces ne demandent que de faibles apports d'azote. Des apports excessifs de cet élément comptent notamment parmi les principales causes de la disparition de certaines espèces, de la prolifération d'espèces tolérantes et ainsi de l'appauvrissement et du nivellement de la biodiversité (*homogénéisation*). La quantité de composés assimilables par les végétaux constituant un facteur décisif pour le rendement, l'agriculture ne peut toutefois s'en passer.

Jusqu'au début du XX^e siècle, les déjections animales et humaines constituaient les principaux engrais azotés. Le cycle sol → plantes cultivées → animaux d'élevage → déjections → sol était presque entièrement bouclé. Le procédé Haber-Bosch, méthode chimique inventée au début du XX^e siècle, permet de produire, à partir d'azote inerte, des quantités industrielles de composés azotés assimilables par les plantes. Il a ainsi été possible d'intensifier l'agriculture et d'accroître la production

alimentaire, afin de répondre aux besoins d'une population mondiale en hausse constante. Cette évolution a cependant intensifié le cycle de l'azote tant au niveau national que mondial – y compris les fuites d'azote – et a modifié le recours à cet engrais jusqu'alors très précieux. Aujourd'hui, des composés azotés réactifs parviennent en quantités considérables dans l'air, les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines.

L'agriculture constitue la principale source des émissions de composés d'azote réduit dans l'atmosphère (ammoniac $[\text{NH}_3]$ et ammonium $[\text{NH}_4^+]$, ce dernier étant issu de la transformation de l'ammoniac). Elle est également la première responsable de la pollution des eaux par les nitrates.

Les processus de combustion constituent quant à eux la principale source de composés azotés oxydés. Depuis le début du XX^e siècle, l'industrie, les installations de chauffage et le trafic motorisé ont engendré une hausse massive des émissions de composés azotés oxydés dans l'atmosphère (oxydes d'azote $[\text{NO}_x]$: monoxyde d'azote $[\text{NO}]$ et dioxyde d'azote $[\text{NO}_2]$). Leur transformation dans l'atmosphère conduit à l'apparition d'acide nitrique (HNO_3) et de nitrates (NO_3^-), qui comptent parmi les constituants des poussières fines, et contribue à la formation d'ozone (smog estival).

Tant l'apport direct de composés azotés réactifs que leur transport dans l'air (par le biais de gaz, de poussières fines et de précipitations) vers les sols et les eaux engendrent des émissions de protoxyde d'azote (N_2O) dans l'atmosphère. Ce gaz favorise le réchauffement climatique et endommage la couche d'ozone stratosphérique.

Les mesures et les objectifs écologiques présentés jusqu'ici dans la stratégie de la Confédération visant à réduire la pollution azotée ont été repris dans les politiques agricole et environnementale, et certaines mesures ont déjà été mises en œuvre. La Suisse est toutefois loin des objectifs fixés. C'est en particulier dans l'agriculture qu'il s'avère difficile d'obtenir les réductions prévues. Beaucoup reste donc à faire pour atteindre les objectifs environnementaux pour l'agriculture (OFEV et OFAG 2008), mettre en œuvre la stratégie de protection de l'air (FF 2009) et réaliser les objectifs de la politique forestière 2020 (FF 2011).

2 Sources et responsables des émissions

Les apports de composés azotés dans l'environnement sont dus à des sources polluantes et à l'utilisation d'engrais ainsi qu'à la fixation de l'azote. Durant leurs parcours, ces composés subissent de multiples processus de transformation dans les divers milieux de l'environnement. La figure 2 illustre ces processus et leurs principales conséquences.

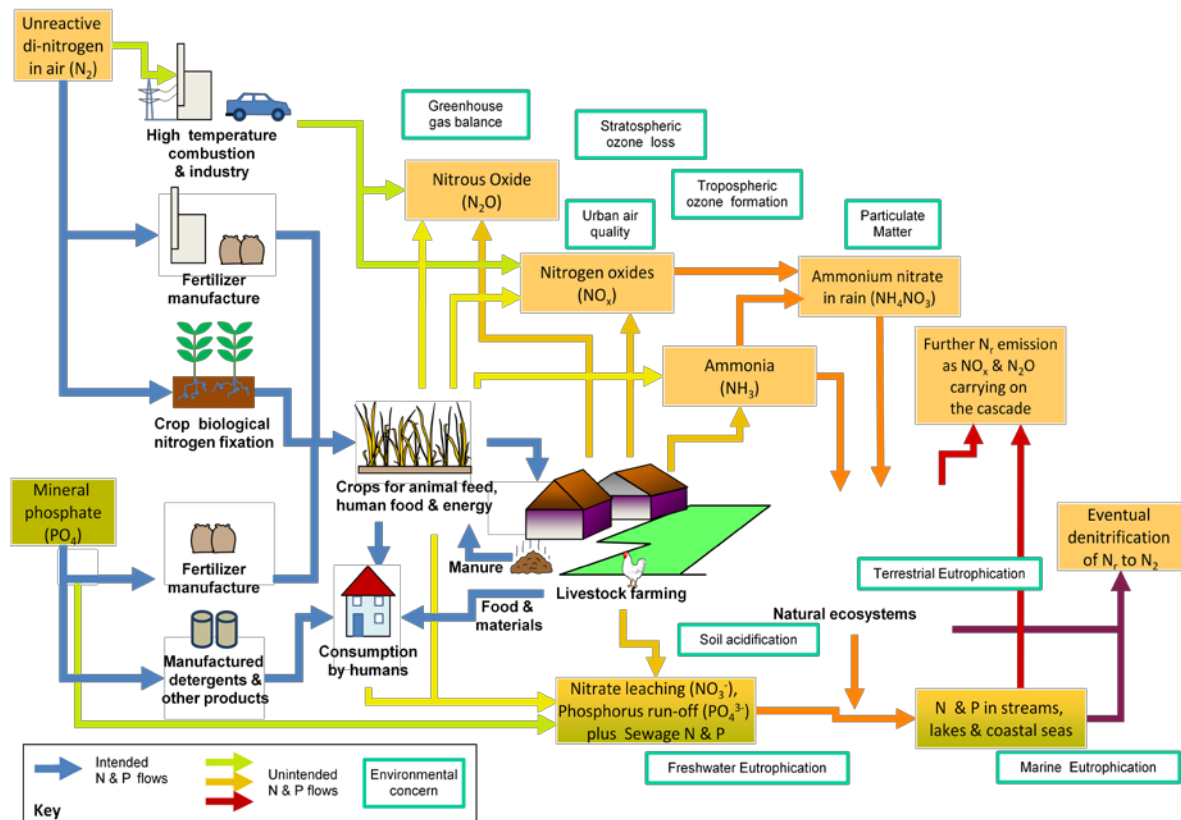


Fig. 2 : Cycle de l'azote (présentation simplifiée), avec les principales sources d'azote réactif (N_r) et ses flux dans les divers milieux de l'environnement (Source : European Nitrogen Assessment 2011)

L'analyse des flux de substances est un moyen essentiel pour quantifier les principaux flux d'azote. Elle permet d'identifier les plus significatifs d'entre eux et de les classer par ordre d'importance. Elle constitue ainsi un instrument fort utile pour élaborer des stratégies de réduction. La figure 3 illustre la quantification des flux d'azote en Suisse pour l'année 2005.

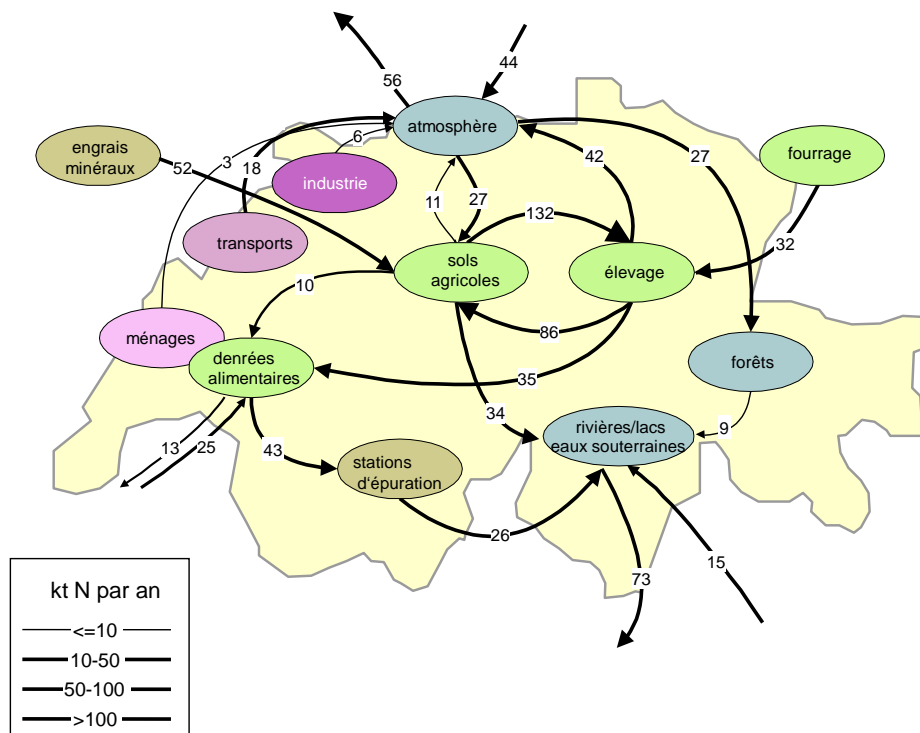


Fig. 3 : Principaux flux de composés azotés réactifs en 2005. Les valeurs sont indiquées en kilotonnes (kt) d'azote par an (présentation schématisée ne tenant pas compte des zones urbanisées et des surfaces non productives tirée de OFEV 2010)

Dans l'agriculture suisse, les flux de composés azotés réactifs ont atteint environ 110 kt d'azote en 2005, dont 52 kt provenaient d'engrais minéraux et 32 kt de fourrage importé, alors que 27 kt étaient des dépôts de polluants azotés (OFEV 2010). Sur la totalité de l'azote contenu dans les engrais minéraux, environ 6 % se dispersent sous forme d'ammoniac (NH_3) ou d'oxydes d'azote (NO_x). L'essentiel de l'azote utilisé dans la production végétale sert à nourrir le bétail, alors que seule une faible proportion, 10 kt environ, parvient directement dans l'alimentation humaine. La structure par âge des animaux de rente, le mode d'élevage et leur alimentation, c'est-à-dire l'intensité de la production, permettent de calculer l'excrétion de nutriments. Au total, les animaux de rente émettent quelque 130 kt d'azote en Suisse, dont seuls 70 % sont utilisés dans la culture des champs et la culture fourragère, tandis que le reste se perd dans l'atmosphère. Le recours aux engrais, en particulier aux engrais de ferme, dans la production végétale émet pour sa part 11 kt d'azote sous forme d'ammoniac dans l'atmosphère. Depuis les sols agricoles, 34 kt d'azote parviennent dans les eaux souterraines et les eaux de surface principalement sous forme de nitrates.

L'azote contenu dans les denrées alimentaires est à son tour excrété par les humains : en Suisse, les stations d'épuration (STEP) éliminent actuellement, par nitrification et dénitrification, à 44 % environ des eaux usées, le reste parvenant dans les eaux, le plus souvent sous forme de nitrates. La combustion de carburants dans les moteurs est une autre grande source d'émissions (18 kt d'azote).

Principaux flux actifs d'azote :

- importations d'engrais minéraux et de fourrage ;
- émissions d'oxydes d'azote par les processus de combustion ;
- émissions d'ammoniac d'origine agricole ;
- apports d'azote dans les STEP via les eaux usées.

Avec les modes de culture appliqués dans l'agriculture, ces principaux flux de substances sont responsables de l'accroissement des autres flux de substances, induits :

- émissions dans l'atmosphère en provenance des sols ou des stations d'épuration des eaux usées et des installations de traitement des déchets ;

- dépôt d'azote atmosphérique sur les sols et dans les forêts ;
- lessivage et ruissellement vers l'hydrosphère de l'azote contenu dans le sol ;
- exportations (flux vers l'étranger).

Par ses activités, l'être humain a modifié les cycles naturels de l'azote. Ses interventions au cours des dernières années ont multiplié les flux d'azote entre l'atmosphère, l'hydrosphère, les végétaux et les sols, entraînant des effets néfastes sur les écosystèmes fragiles, la fertilité des sols, la biodiversité et la santé. Pour résoudre ce problème, il importe premièrement de réduire les flux actifs de substances et, deuxièmement, de fermer les cycles de matières (cf. chapitre Objectifs de réduction et nécessité d'agir).

3 Émissions de composés azotés

3.1 Émissions atmosphériques

En 2010, les transports ont constitué la principale source d'émissions d'oxydes d'azote (58 %) en Suisse, les émissions d'ammoniac provenant quant à elles principalement de l'agriculture (93 %). Sur l'ensemble des polluants atmosphériques azotés (NO_x-N et NH₃-N), 66 % ont été émis par l'agriculture, 22 % par les transports, 8 % par l'industrie et l'artisanat et 4 % par les ménages. Grâce au renforcement des prescriptions sur les gaz d'échappement, les émissions d'oxydes d'azote ont diminué de 44 % environ entre 1990 et 2010, et les innovations technologiques devraient induire une nouvelle baisse d'ici 2020. Si les émissions d'ammoniac ont diminué entre 1990 et 2005, c'est principalement en raison du recul des effectifs d'animaux de rente. Depuis lors, elles n'ont plus guère varié.

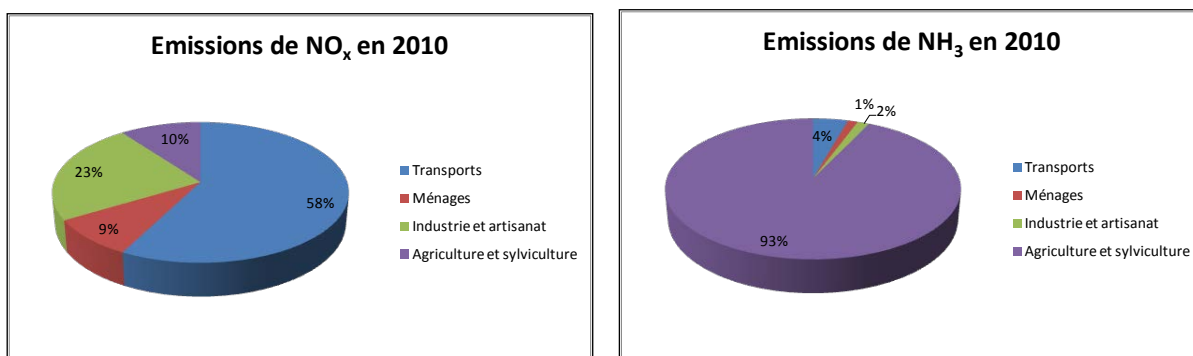


Fig. 4 : Part des différentes sources polluantes dans les émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac en Suisse en 2010

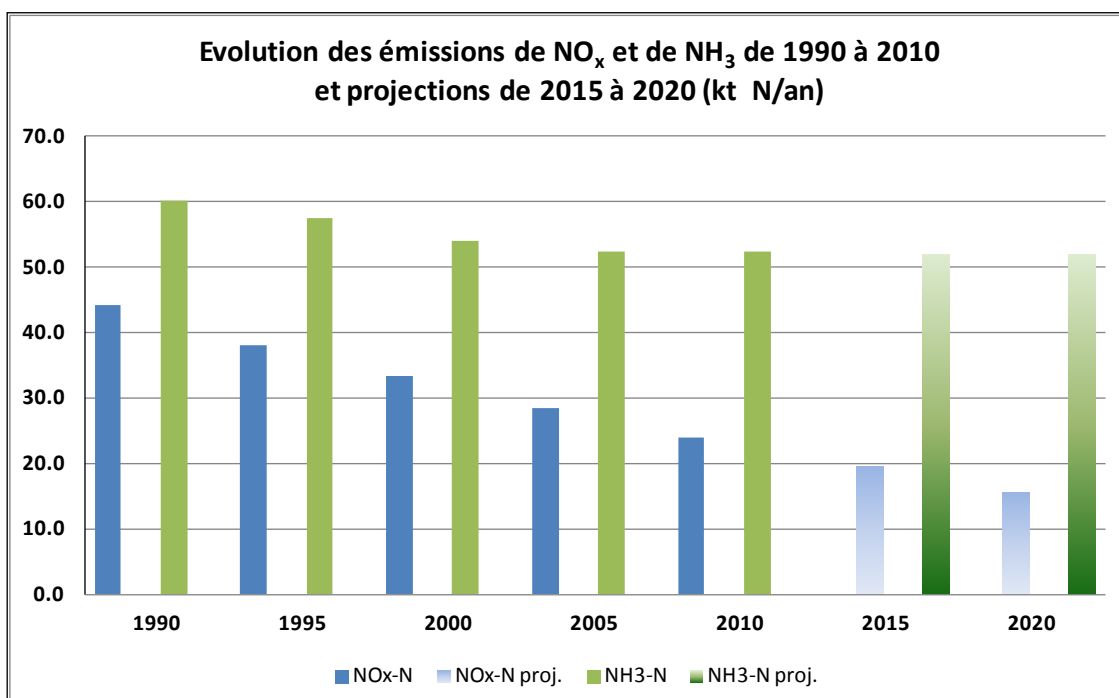


Fig. 5 : Émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac d'origine anthropique (en kt d'azote par an) entre 1990 et 2020 en Suisse

Les processus de dégradation microbienne des composés azotés dans le sol représentent la principale source de protoxyde d'azote (N₂O). En Suisse, l'agriculture est responsable de 80 % environ des émissions de ce gaz, celles-ci provenant à près de 90 % des sols exploités. Les émissions de protoxyde d'azote dépendent pour l'essentiel des quantités d'engrais minéraux et de

ferme épandus sur les sols. Elles ont diminué entre 1990 et 2000, puis sont restées pratiquement constantes.

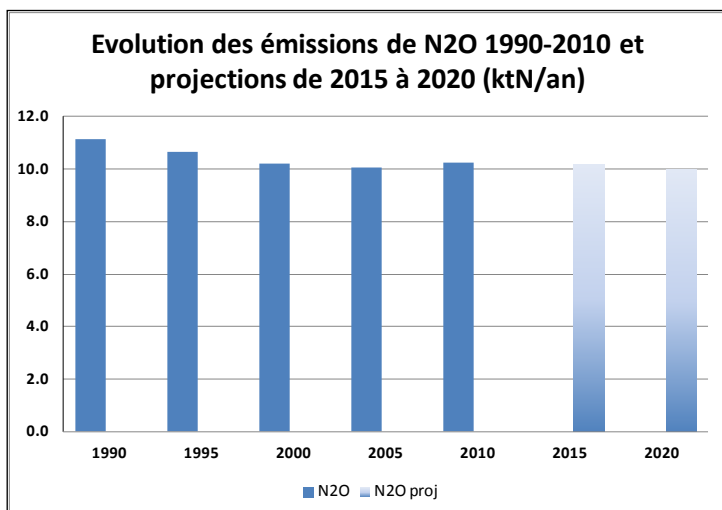


Fig. 6 : *Évolution des émissions de protoxyde d'azote en Suisse de 1990 à 2020 (en kt d'azote par an)*

En Suisse, l'agriculture est la principale source de nitrates, puisqu'elle représente environ 75 % des émissions (OFAG 2008, OFAG 2012). Chaque année, quelque 34 000 t en parviennent dans les eaux (surtout dans les eaux souterraines) par ruissellement sur les terrains agricoles (chiffres pour 2005, cf. OFEV 2010).

Actuellement, les eaux usées communales déversent chaque année quelque 41 000 t d'azote (N) dans les STEP suisses (Strähli 2013). Ces dernières en transforment environ 18 000 t en azote non réactif par dénitrification, de sorte que 23 000 t d'azote parviennent encore dans les eaux de surface via les STEP. De plus, l'équivalent de 3 à 4 % des charges mesurées à l'entrée de chaque STEP s'écoulent directement dans les eaux par les déversoirs d'orage. Actuellement, les STEP suisses éliminent en moyenne 44 % de l'azote. Le taux d'élimination est légèrement plus élevé (52 %) dans les STEP du bassin versant du Rhin. La différence s'explique par la mise en œuvre d'un programme spécial qui vise à protéger le Rhin et la mer du Nord en dotant les STEP d'une étape supplémentaire pour éliminer l'azote (Strähli 2013).

4 Composés azotés dans l'environnement

4.1 L'azote dans l'atmosphère

La surveillance des concentrations de polluants atmosphériques en Suisse révèle une diminution de la charge en oxydes d'azote en concordance avec le recul calculé des émissions (fig. 5). Dans l'atmosphère, le dioxyde d'azote (NO_2) se forme par oxydation des émissions primaires de monoxyde d'azote (NO), le NO_2 étant essentiellement un polluant secondaire. Depuis 1990, la charge de dioxyde d'azote dans l'atmosphère a sensiblement diminué : en moyenne annuelle, la valeur limite d'immission est certes encore dépassée dans les grandes villes, en particulier le long des routes très fréquentées, mais elle est respectée dans les zones suburbaines, et est loin d'être atteinte dans les zones rurales à l'écart des routes.

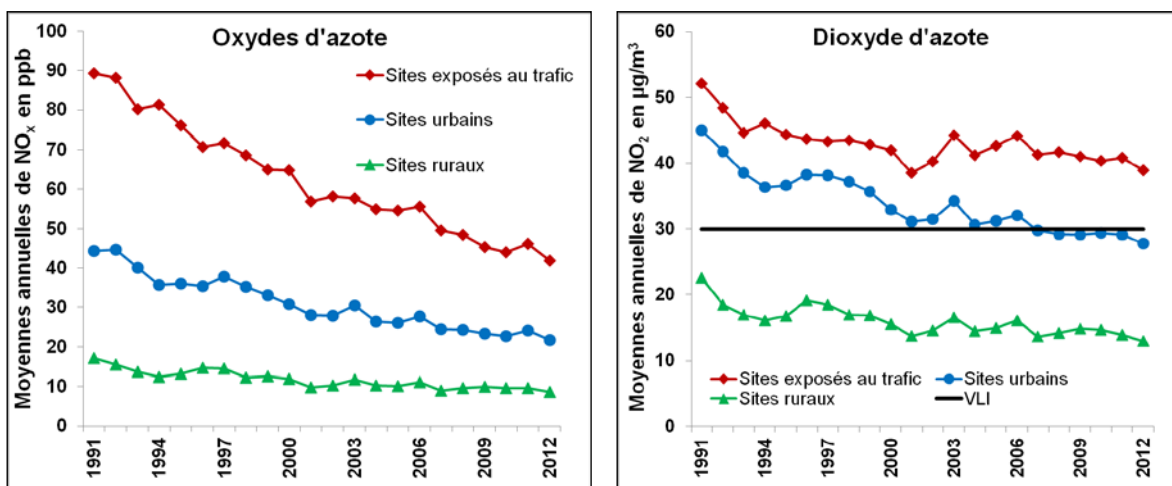


Fig. 7 : Évolution des concentrations d'oxydes d'azote et de dioxyde d'azote sur différents types de sites en Suisse

Depuis 2004, les concentrations d'ammoniac sont mesurées sur 24 sites. Leur évolution sur 19 sites en zone agricole (fig. 8) ne révèle aucune diminution des concentrations de NH_3 entre 2004 et 2012.

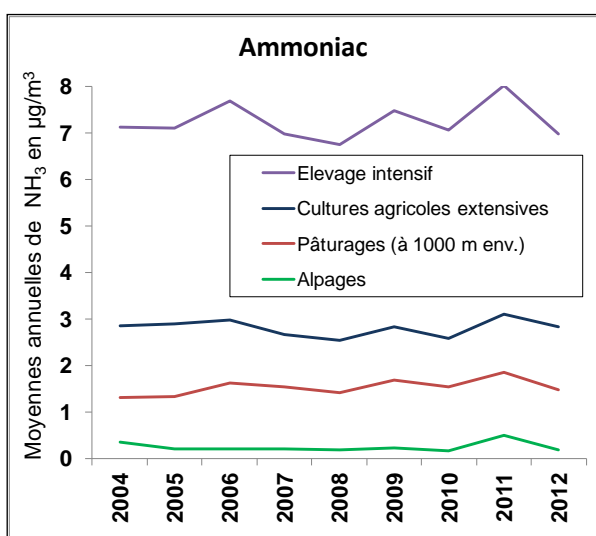


Fig. 8 : Évolution des concentrations d'ammoniac sur différents types de sites agricoles en Suisse

Les oxydes d'azote gazeux et l'ammoniac se transforment aussi en nitrate d'ammonium, l'un des composants de la poussière fine secondaire. Aux côtés des composés organiques, le nitrate d'ammonium est l'un des principaux constituants des PM_{10} . Au nord des Alpes, la moyenne annuelle des concentrations de nitrate d'ammonium avoisine $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit un quart de la valeur limite

d'immission pour l'ensemble des PM10 et un quart environ aussi de la charge caractéristique de poussières fines à l'écart des grandes sources polluantes. Au sud des Alpes, les concentrations de nitrate d'ammonium sont légèrement plus faibles ($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ env.). Ce composé affiche des variations annuelles particulières (concentrations très faibles en été et élevées en hiver), car il se décompose en ammoniac et en acide nitrique sous l'effet de températures élevées. En hiver, les concentrations peuvent se situer entre 20 et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (on a mesuré jusqu'à env. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant les phases de smog hivernal), pour une valeur journalière des émissions de poussières fines (PM10) totales de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Contrairement à celles des autres constituants anthropiques des poussières fines, les concentrations de nitrate d'ammonium ne sont pas en recul.

Les sommes mesurées d'ammoniac gazeux et d'ammonium contenu dans des particules (azote réduit) ainsi que d'acide nitrique gazeux et de nitrates particulaires (azote oxydé) ne révèlent aucune évolution notable des concentrations depuis le début des mesures en 1994 (fig. 9a).

Les charges d'ammonium et de nitrates dans les précipitations se situent à un niveau élevé depuis 1985 (fig. 9b). Les données disponibles sur les immissions ne reflètent donc pas le recul des émissions d'ammoniac calculé pour la période 1990 à 2000.

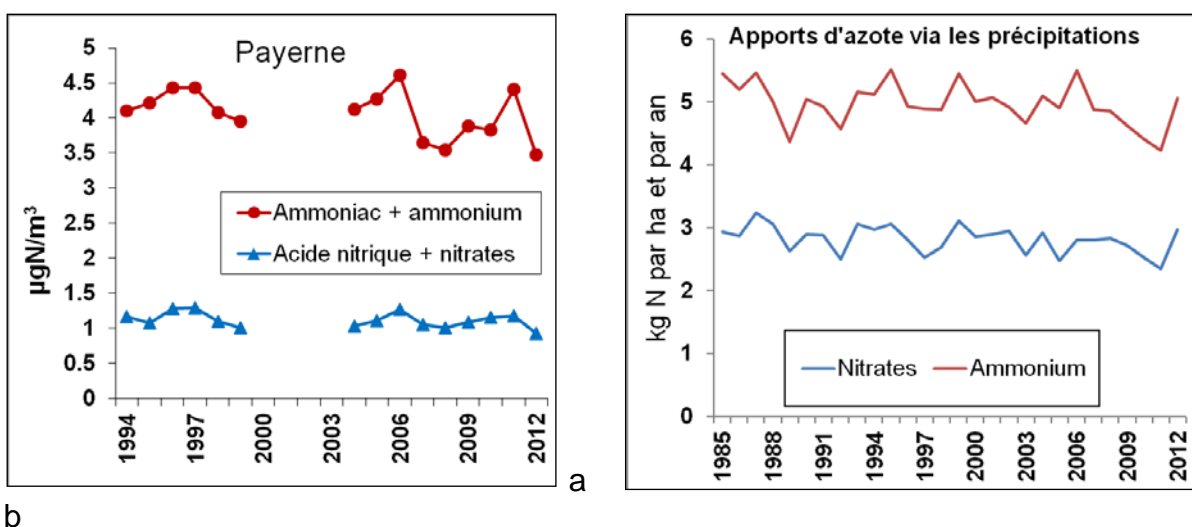


Fig. 9 : a) Évolution des concentrations d'ammonium total et de nitrate total (sous forme gazeuse et particulaire) sur le site rural de Payerne
 b) Azote apporté par les précipitations (dépôts humides), moyenne des sites de Payerne et de Dübendorf

La carte ci-après (fig. 10) illustre la répartition spatiale de tous les apports d'azote en 2010 en Suisse. Ces apports comprennent aussi bien les dépôts humides (via les précipitations) que les dépôts secs de composés gazeux et particulaires.

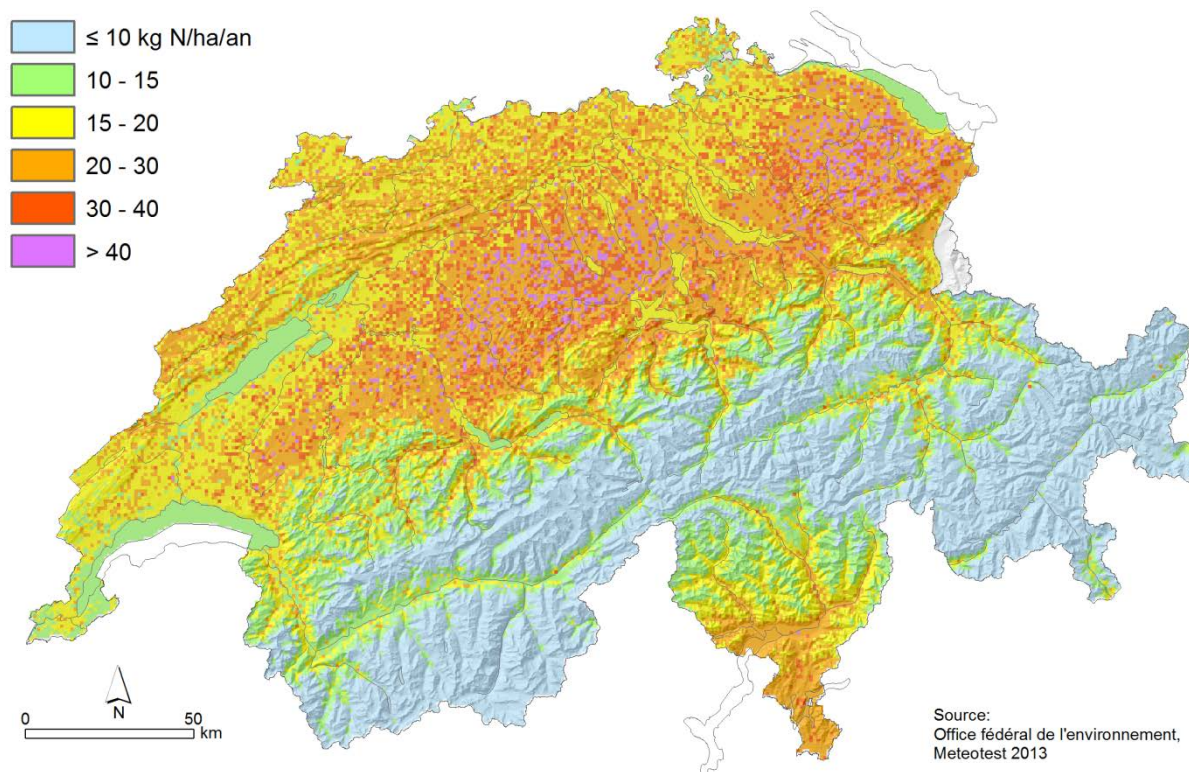


Fig. 10 : Dépôts de polluants atmosphériques azotés en Suisse en 2010. Pour l'écosystème forestier, les charges critiques se situent entre 10 et 20 kg d'azote par hectare et par an, pour les hauts-marais et les pâturages alpins riches en espèces entre 5 et 10 kg (CEE-ONU 2010). (Source de la carte : OFEV, Météotest 2013)

Les concentrations de protoxyde d'azote (N_2O) font l'objet de mesures systématiques au Jungfraujoch et celles-ci en révèlent une hausse constante (fig. 11). Le même constat a été établi dans d'autres stations de mesure à travers le monde (OMM 2012). Le protoxyde d'azote présentant une longue durée de vie, les concentrations de N_2O relevées dans les stations mesurant la charge de fond sont déterminées par les émissions mondiales.

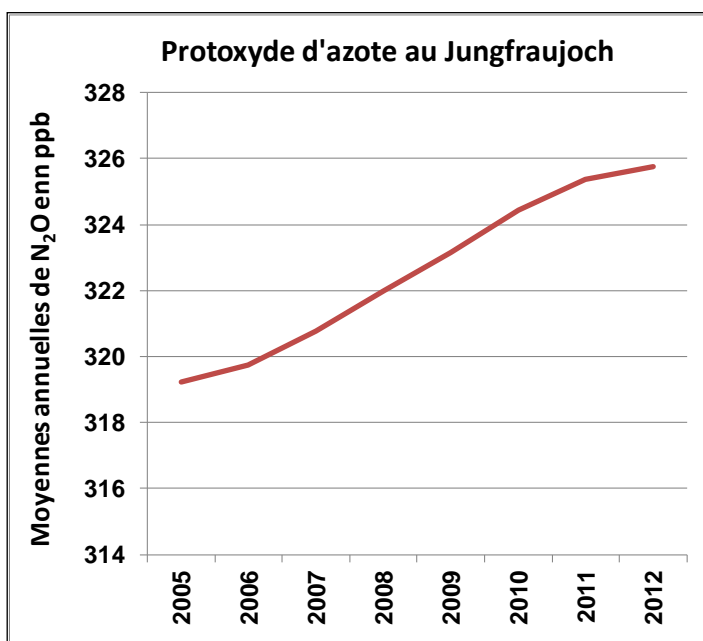


Fig. 11 : Concentrations de protoxyde d'azote au Jungfraujoch

4.2 L'azote dans les milieux aquatiques

Dans les milieux aquatiques, ce sont surtout les nitrates, très hydrosolubles et dès lors mobiles, que l'on rencontre en concentrations élevées. En 2011, la concentration de nitrates dépassait 25 mg/l (l'exigence chiffrée définie dans l'ordonnance sur la protection des eaux, OEaux) dans 16 % des stations de mesure de l'Observation nationale des eaux souterraines (NAQUA). Si la concentration de nitrates dans les eaux souterraines est nettement inférieure à 5 mg/l dans les sites d'altitude ne subissant aucune influence anthropique, les concentrations les plus élevées ont été mesurées dans les zones de culture agricole. Dans près de la moitié de ces stations, l'exigence chiffrée de l'OEaux a été dépassée en 2011. En forêt, les concentrations de nitrates se situent souvent entre 5 et 10 mg/l (NAQUA 2013).

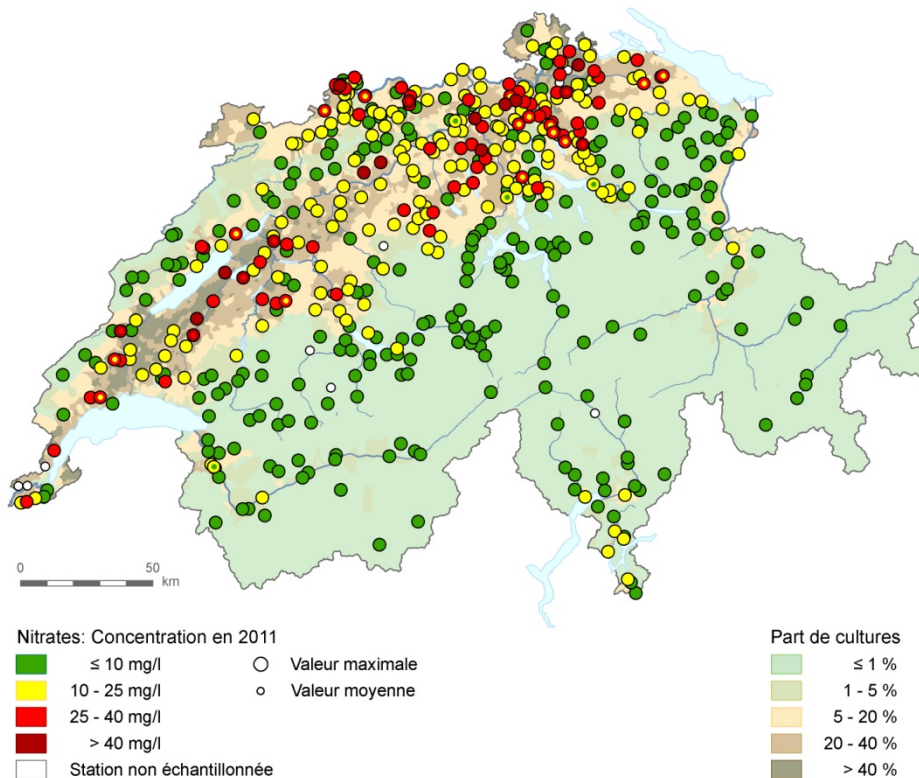


Fig. 12 : Concentrations de nitrates dans les eaux souterraines en 2011 et part de terres arables. Valeur moyenne et maximale de chaque station. (Source : NAQUA 2013)

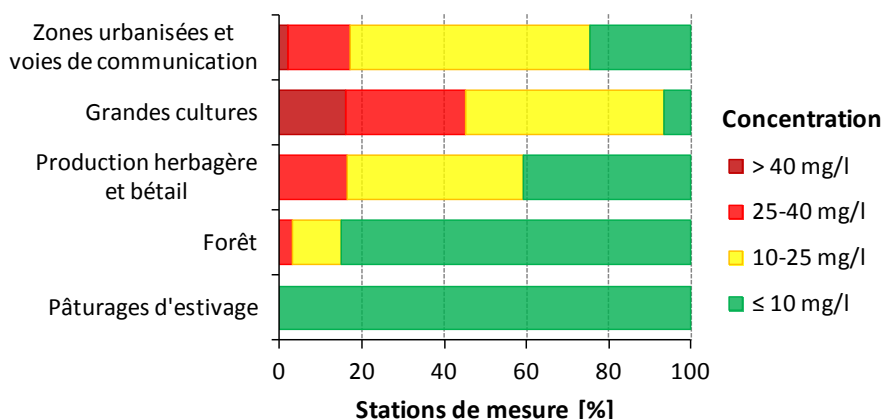


Fig. 13 : Concentrations de nitrates dans les eaux souterraines en 2011 en fonction de l'utilisation principale du sol dans le bassin versant de la station. Valeur maximale par station NAQUA. Répartition des stations selon l'utilisation principale du sol : zones urbaines et voies de communication : 93 stations ; grandes cultures : 93 stations ; production herbagère et bétail : 140 stations ; forêt : 159 stations ; pâturages d'estivage et régions improductives : 35 stations. (Source : NAQUA 2013)

Un recul de la concentration de nitrates dans les eaux souterraines a surtout été observé entre le milieu des années 1990 et le début de ce siècle. Actuellement, les concentrations atteignent le même niveau, élevé, qu'en 2002, année de référence où a débuté NAQUA. La hausse temporaire des concentrations de nitrates, qui ont atteint un pic en 2005 et en 2006, serait à mettre sur le compte des sécheresses prolongées de 2003 et de 2005. Les hausses les plus fortes ont été enregistrées dans les eaux souterraines des zones cultivées, c'est-à-dire là où le sol contient les plus grands excédents de nitrates et où il est soumis à une exploitation intensive. Si l'on ne parvient pas à réduire ces excédents, il ne faut pas s'attendre à voir diminuer les concentrations de nitrates dans les eaux souterraines.

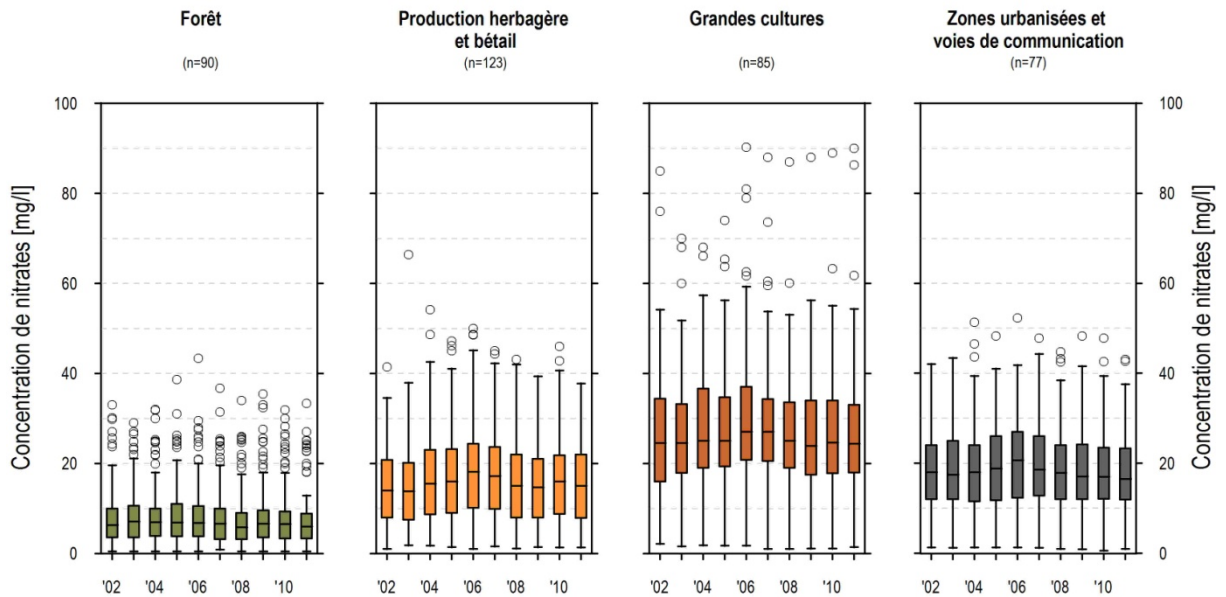


Fig. 14 : *Évolution des concentrations de nitrates dans les eaux souterraines de 2002 à 2011 selon l'utilisation principale du sol. Valeur maximale par station (NAQUA 2013).*

5 Effets

5.1 Effets sur la santé humaine

Parmi les composés azotés présents dans l'air ambiant, le dioxyde d'azote gazeux (NO₂) ainsi que le nitrate et l'ammonium contenus dans les particules sont ceux qui affectent le plus la santé humaine. Le NO₂ provoque des manifestations inflammatoires au niveau des voies respiratoires et intensifie les effets irritants des allergènes. Lorsque la charge de l'air extérieur en NO₂ augmente, on enregistre à court terme un nombre plus élevé de décès et d'hospitalisations pour des affections des voies respiratoires ; les troubles du rythme cardiaque sont également fréquents. À plus long terme, l'incidence des infections des voies respiratoires augmente, la fonction pulmonaire de la population se détériore et les décès se multiplient. Certains groupes de population, tels les enfants, les personnes âgées et les asthmatiques, sont particulièrement touchés. La majeure partie de la population suisse est exposée à des immissions de dioxyde d'azote inférieures à la valeur limite. La charge polluante reste toutefois excessive au centre des villes et le long des principaux axes routiers. La valeur limite, exprimée en moyenne annuelle, y est nettement dépassée, en particulier à proximité du trafic.

Les composés azotés gazeux présents dans l'atmosphère peuvent conduire à la formation de substances secondaires, telles que les nitrates ou l'ammonium, qui sont des composants importants des particules fines. Une élévation chronique de la charge en poussières fines entraîne une augmentation des pathologies cardiovasculaires et respiratoires au sein de la population et diminue l'espérance de vie.

Leurs effets nocifs potentiels ne sont pas uniquement dus à leur composition chimique, mais aussi à leur proportion dans la masse totale des particules inhalées, qui contiennent également certains composés azotés organiques, tels que les hydrocarbures aromatiques nitrés.

Sous l'effet des réactions photochimiques qui interviennent dans l'atmosphère, les oxydes d'azote donnent naissance à de l'ozone. Principal constituant du smog estival, celui-ci est un gaz irritant corrosif, susceptible de pénétrer très profondément dans les poumons en raison de sa faible solubilité dans l'eau. Les concentrations accrues d'ozone entraînent des effets aigus sur la santé : picotements et irritation des yeux, altération de la fonction pulmonaire, réactions inflammatoires des voies respiratoires exigeant une hospitalisation, et pouvant même provoquer un décès.

En Suisse, l'ammoniac et l'acide nitrique présents dans l'air extérieur n'atteignent normalement pas des concentrations critiques pour la santé.

5.2 Effets sur les écosystèmes et la biodiversité

Une fois émis, les oxydes d'azote et l'ammoniac sont transportés sur de grandes distances et transformés, avant de se déposer sous forme sèche ou humide plus ou moins loin des sources d'émission. Ce phénomène a pour conséquence une surfertilisation (eutrophisation) et une acidification d'écosystèmes entiers, avec de multiples effets à long terme sur leur végétation et leur faune (diminution de la biodiversité), leur structure et leur fonction. Les écosystèmes sensibles comprennent notamment les forêts, les prairies sèches et d'autres prairies naturelles riches en espèces, les hauts-marais, les bas-marais, les landes et les eaux stagnantes ainsi que les cours d'eau pauvres en nutriments.

En Suisse, les charges critiques d'azote, c'est-à-dire les apports maximaux d'azote que des systèmes proches de l'état naturel sont à même de tolérer compte tenu des connaissances les plus récentes, sont dépassées sur une bonne partie du territoire. Des analyses différenciées ont révélé que les apports d'azote atmosphérique sont excessifs sur plus de 90 % de l'aire forestière, 100 % des hauts-marais, 84 % des bas-marais et 42% des prairies et pâturages secs riches en espèces. En conséquence, la biodiversité de ces habitats diminue, effet confirmé par les relevés réalisés par Info Flora afin d'actualiser les listes rouges. Les dépassements des charges critiques varient selon la région et l'écosystème. Les écosystèmes forestiers, qui filtrent les polluants atmosphériques davantage que d'autres écosystèmes, sont les plus touchés. En forêt, les apports d'azote sont de trois à quatre fois supérieurs aux charges critiques.

Dans les écosystèmes forestiers, la pollution azotée a pour effet d'accroître le lessivage des nitrates du sol, entraînant son acidification progressive avec toutes les conséquences négatives qu'elle implique, notamment un appauvrissement en nutriments et une libération d'ions aluminium toxiques. Dans les arbres, les dépôts excessifs d'azote induisent un déséquilibre nutritionnel croissant. Selon

les conditions du milieu, l'apport en phosphore, en potassium et en magnésium diminue alors que celui en azote augmente, ce qui peut accroître la sensibilité aux parasites et diminuer la tolérance au stress hydrique (à la sécheresse) et au gel. Outre l'acidification du sol, on observe également que l'enracinement en profondeur diminue, de sorte que les arbres sont plus facilement renversés lors d'une tempête.

Les dépôts accrus d'azote stimulent la croissance des végétaux nitrophiles, ceux-ci concurrençant les plantes caractéristiques de sols pauvres en nutriments. D'où une modification et une diminution de la biodiversité. Les biotopes les plus touchés sont la végétation des sols forestiers et les prairies sèches, de même que d'autres prairies naturelles riches en espèces. Le Monitoring de la biodiversité en Suisse (MBD) a permis de démontrer que l'accroissement des dépôts d'azote atmosphérique augmente les concentrations de nutriments dans les sols des forêts, des prairies, des pâturages et en montagne, de sorte que l'on y rencontre de plus en plus souvent des plantes nitrophiles, c'est-à-dire préférant les milieux plus riches en nutriments (OFEV 2012a ; fig. 15). La valeur en nutriments des plantes (Landolt 2010) est une unité qui exprime la teneur en nutriments assimilables des sols colonisés par ces plantes. Ces nutriments comprennent en particulier l'azote, mais aussi le phosphore. Une valeur basse correspond à une teneur faible en nutriments, et une valeur élevée à une teneur élevée. L'accroissement des dépôts d'azote conduit donc à un recul des plantes indicatrices d'un sol « maigre ». Les relevés du MBD ont permis d'étudier l'effet de cet accroissement sur ces plantes indicatrices et de prouver qu'il appauvrit leur diversité (Roth et al. 2013 ; fig. 16). Des apports élevés d'azote peuvent cependant également avoir des effets nocifs sur les prairies alpines et subalpines. Dans le cas des landes alpines à buissons nains, avec leur grande variété de lichens et de mousses, il faut s'attendre à un recul des lichens et des mousses rares ainsi que des arbrisseaux à feuillage persistant.

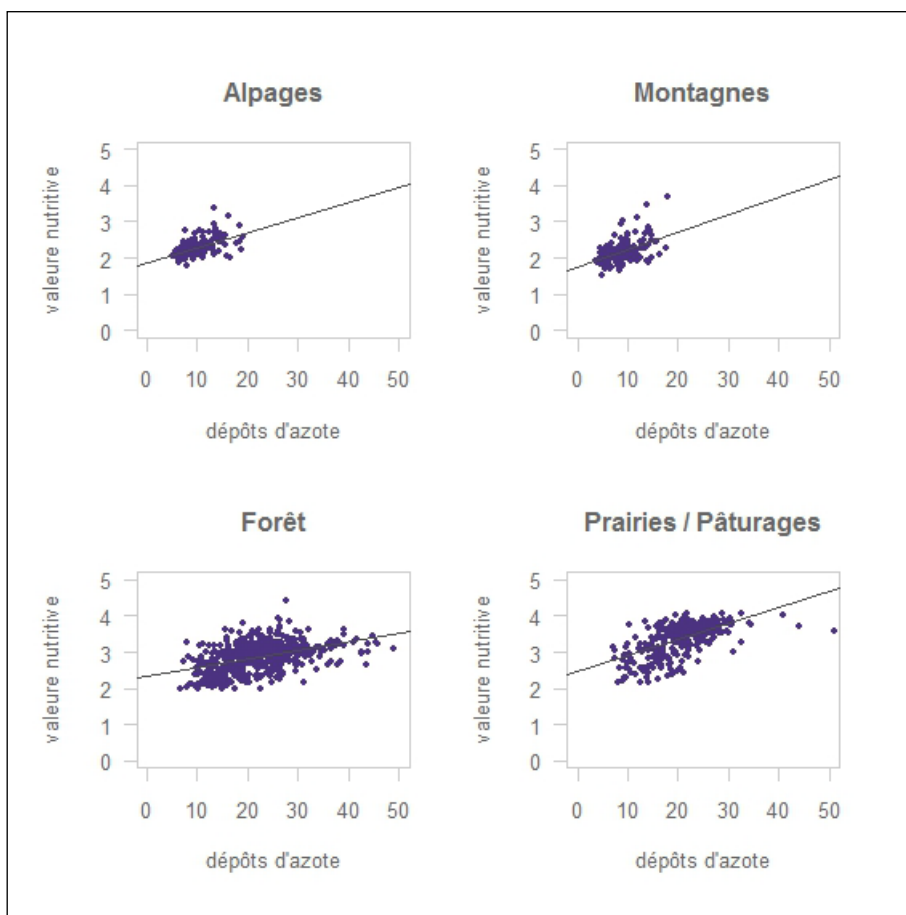


Fig. 15 : Rapport entre dépôts d'azote, en kg par hectare et par an, et la valeur nutritive moyenne du sol dans l'écosystème forestier et de la végétation des prairies, des pâturages et en montagne (Source : OFEV 2012a)

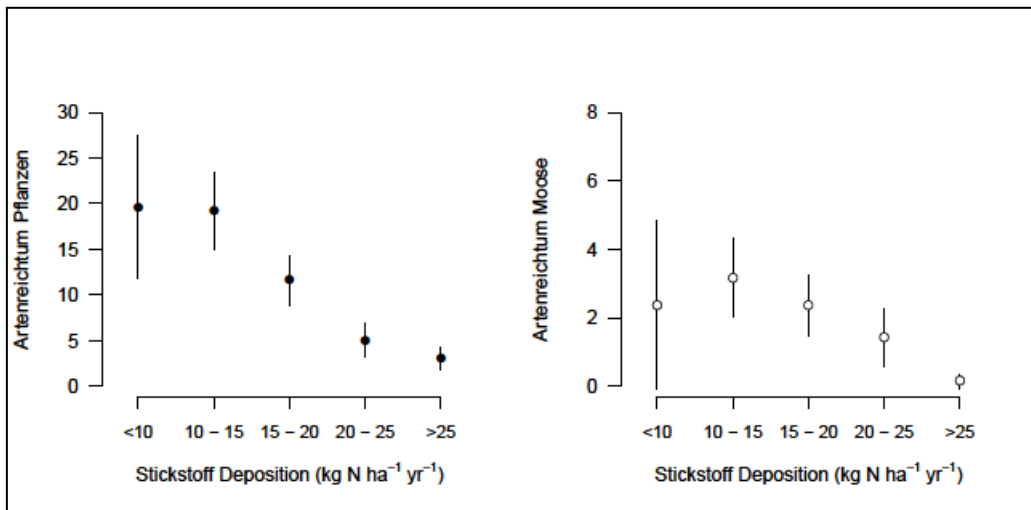


Fig. 16 : *La variété des espèces de végétaux supérieurs et de mousses oligotrophes dignes de protection (plantes indicatrices de sols maigres) dans les prairies de fauche de l'étage montagnard diminue avec l'accroissement des apports d'azote atmosphérique (Roth et al. 2013).*

Des apports élevés d'azote transforment le peuplement végétal des bas-marais en favorisant les associations de hautes herbes plus triviales, composées de populages et de filipendules. Les hauts-marais et la macroflore des eaux stagnantes pauvres en nutriments sont particulièrement menacés par les apports élevés d'azote. Dans les hauts-marais, on observe un net recul des sphaignes et un envahissement par des mousses, voire un embroussaillage lorsque la surfertilisation se poursuit. Les plantes insectivores typiques des marais, comme le rossolis, sont remplacées par la linaigrette et l'andromède.

5.3 Effets sur le sol

Le sol est une étape importante dans le cycle de l'azote. Il régule les transferts entre l'air, la végétation et l'eau. C'est l'activité microbienne des sols qui est responsable des principales transformations des composés azotés dans les écosystèmes terrestres, qu'ils soient naturels ou agricoles. Les composés azotés parvenant par immission atmosphérique dans le sol (NH_3 , NH_4^+ , HNO_3 , NO_3^-) contribuent au déséquilibre du cycle de l'azote.

Le ion ammonium (NH_4^+) introduit dans le sol remplace les cations basiques et les protons adsorbés sur le complexe argilo-humique. Ceux-ci sont donc libérés dans la solution du sol, provoquant à la fois l'acidification (diminution du pH par augmentation de la concentration des protons hydrogène) et la perte de certains nutriments indispensables aux plantes – calcium, potassium et magnésium – regroupés sous le terme générique de cations basiques (entraînés vers les eaux). Tandis que les sols à pH naturellement élevé, formés à partir de roches calcaires, possèdent un fort pouvoir tampon, l'acidification des sols issus de roches acides, telles le granite, devient rapidement critique.

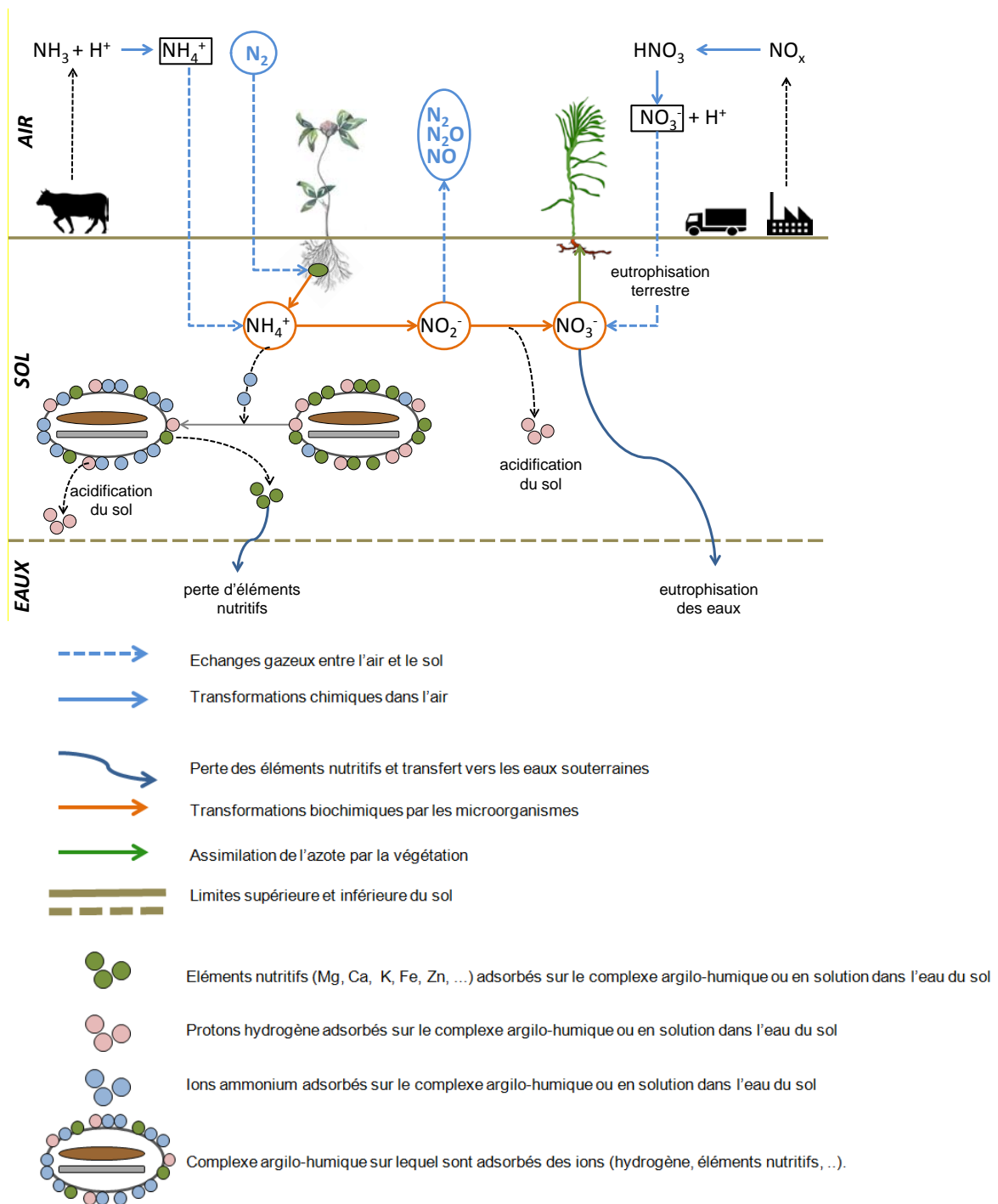


Fig. 17 : Cycle de l'azote dans le sol (présentation simplifiée)

L'observation de sites forestiers a montré que les apports d'azote atmosphérique excédentaires, supérieurs aux charges critiques, provoquent déjà un déséquilibre dans les sols et dans l'état nutritionnel des arbres. Outre la réduction d'éléments nutritifs, l'acidification du sol entraîne une libération et une solubilisation de l'aluminium et du manganèse, qui sont des éléments toxiques pour les plantes.

Par ailleurs, les nitrates formés par les bactéries qui excèdent la capacité de stockage des sols, sont soit prélevés directement par les plantes (eutrophisation terrestre), soit entraînés par percolation vers les eaux souterraines ou de surface (eutrophisation des eaux).

5.4 Effets sur les eaux souterraines

Les sols enrichis en azote peuvent affecter la qualité des eaux souterraines lorsque ses fractions solubles (avant tout les nitrates) dépassent nettement la capacité d'absorption de la végétation. Très solubles dans l'eau, les nitrates ne se fixent pas sur les particules du sol, de sorte que l'infiltration d'eaux pluviales entraîne rapidement leurs excédents de la solution du sol vers les eaux souterraines.

En Suisse, les eaux souterraines présentent actuellement une bonne qualité. À large échelle, ce sont principalement les nitrates et les pesticides qui détériorent leur qualité, l'agriculture étant la première responsable de ces émissions nocives. De fortes charges de nitrates sont surtout mesurées dans les régions où les terres assolées occupent une grande place. Cette situation est avant tout à mettre sur le compte des excédents d'azote dans le sol, liés au travail régulier de ce dernier (qui stimule son activité, augmentant la minéralisation des composés azotés organiques) et à la mise en jachère temporaire des champs (absence d'une couverture végétale constante à même d'absorber les nitrates en particulier en automne et en hiver, périodes de réalimentation des nappes d'eau souterraine).

Même dans certaines stations situées en forêt, l'eau d'infiltration se trouvant sous la zone d'enracinement contient parfois des concentrations de nitrates supérieures à l'objectif de qualité des eaux souterraines valable en Suisse (25 mg de nitrates, ou 5,7 mg d'azote, par litre) . En Suisse, il est toutefois difficile d'établir une relation entre le lessivage de nitrates des sols forestiers et la qualité des eaux souterraines, car les nitrates présents dans les eaux proviennent également d'autres sources (les surfaces agricoles utiles, p. ex.).

5.5 Effets sur les mers (mer du Nord, Méditerranée)

Pour ce qui est des eaux de surface, ce sont surtout le nitrite et l'ammoniac qui s'avèrent problématiques. Selon les connaissances les plus récentes, les charges d'azote total ne posent actuellement pas de gros problème. La teneur en azote des mers peu profondes, telle la mer du Nord, joue cependant un rôle important dans leur eutrophisation (OFEFP 1996). Les symptômes d'une surfertilisation de la mer du Nord se sont aggravés au cours des années 1980.

5.6 Effets sur le climat et la couche d'ozone stratosphérique

Sur une période de 100 ans, le protoxyde d'azote (N_2O) recèle un potentiel de réchauffement climatique 298 fois plus élevé que le gaz carbonique. Il se place ainsi, après le CO_2 et le méthane, à la troisième position des principaux gaz à effet de serre et on lui attribue 6 % environ de l'effet de serre anthropique. Il figure en outre parmi les gaz régis par le Protocole de Kyoto.

Le protoxyde d'azote compte de plus parmi les substances appauvrissant la couche d'ozone et présente, à ce titre, nombre de similitudes avec les CFC. Émis dans la troposphère, les CFC et le N_2O sont des composés très stables et peuvent ainsi être transportés vers la stratosphère, où leur dégradation par catalyse contribue à la destruction de la couche d'ozone.

Depuis l'interdiction des CFC et des halons, le protoxyde d'azote est devenu la principale substance avant tout d'origine anthropique qui appauvrit la couche d'ozone, et il le restera probablement durant le XXI^e siècle (Ravishankara et al, 2009) (fig. 18).

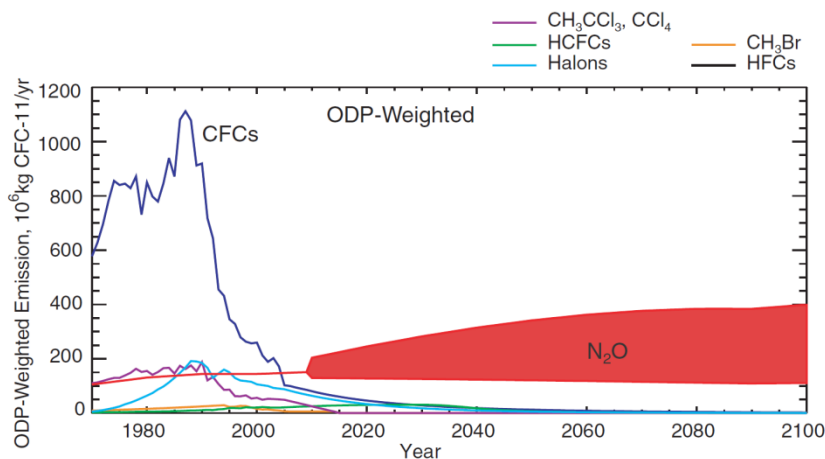


Fig. 18 : Émissions mondiales (évolution et projection) de CFC, de HCFC, de halons et de N_2O pondérées selon le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone
 Source : Ravishankara, A. R. et al.

6 Objectifs de réduction et nécessité d'agir

Le rapport intitulé *Stratégie de réduction des émissions d'azote*, élaboré en 1996 sur mandat du DFI et du DFE (OFEFP et OFAG 1996), établit un bilan de l'azote en Suisse pour 1994 ainsi que des objectifs écologiques et un train de mesures visant à réduire les émissions d'azote dans l'atmosphère et dans les milieux aquatiques. Le document *Objectifs environnementaux pour l'agriculture* (OFEV et OFAG 2008) contient également des objectifs écologiques pour quatre domaines (biodiversité et paysage, climat et atmosphère, eaux et sols). En ce qui concerne la protection de l'air, le rapport du Conseil fédéral sur les mesures d'hygiène de l'air adoptées par la Confédération et les cantons (soumis aux Chambres fédérales en 1999 ; FF 1999), le rapport de la Commission fédérale de l'hygiène de l'air sur *Les polluants atmosphériques azotés en Suisse* (porté à la connaissance du Conseil fédéral en 2005 ; CFHA 2005) et le rapport du Conseil fédéral du 11 septembre 2009 sur la Stratégie fédérale de protection de l'air (FF 2009) ont évalué et comparé les objectifs écologiques pour les émissions d'ammoniac et d'oxydes d'azote, ainsi que le besoin d'agir qui en découlait.

La Commission européenne a de son côté publié en septembre 2013 un rapport détaillé sur la pollution azotée et ses conséquences pour la politique de protection de l'air (Commission européenne 2013). Un nouveau programme «Air pur pour l'Europe», prévoyant des mesures destinées à garantir la réalisation des objectifs existants à court terme, et établissant de nouveaux objectifs de qualité de l'air pour la période allant jusqu'à 2030 a été publié par la Commission européenne le 18.12.2013. En 2030, si l'on compare à une situation restée inchangée, le train de mesures sur la qualité de l'air devrait permettre:

- d'éviter 58 000 décès prématurés en Europe,
- de préserver 123 000 km² d'écosystèmes de la pollution liée à l'azote,
- de préserver 56 000 km² de zones Natura 2000 protégées de la pollution liée à l'azote,
- de sauver 19 000 km² d'écosystèmes forestiers de l'acidification.

Les mesures et les objectifs écologiques contenus dans les rapports mentionnés ci-dessus ont été repris dans les politiques agricole et environnementale, et certaines mesures ont déjà été mises en œuvre. La Suisse est toutefois encore loin d'avoir atteint des objectifs fixés. C'est en particulier dans l'agriculture qu'il s'avère difficile d'obtenir les réductions nécessaires.

6.1 Protection de l'air

Objectifs de réduction

L'ordonnance sur la protection de l'air (OPair) fixe des valeurs limites d'immission (VLI) pour le dioxyde d'azote ainsi que pour l'ozone et les poussières fines, à la formation desquels les composés azotés participent également. Les conventions internationales définissent quant à elles des charges critiques pour les dépôts d'azote dans les écosystèmes (*critical loads*, CL), qui correspondent aux VLI sur le plan juridique. Lorsque les émissions dépassent les VLI ou les CL malgré les limitations préventives, comme cela arrive en maints endroits en Suisse, d'autres mesures doivent être prises afin d'écartier le danger, le respect de ce qui est « économiquement supportable » étant alors relégué au second plan. Les cantons sont tenus d'élaborer des plans de mesures et de les mettre en œuvre.

Afin de respecter les VLI et les charges critiques, la Stratégie fédérale de lutte contre la pollution de l'air (SLPA) du Conseil fédéral (FF 2009) préconise de réduire encore considérablement les émissions par rapport à 2005 : de 50 % environ pour les oxydes d'azote et de 40 % environ pour l'ammoniac.

Dans le cadre du Protocole de Göteborg, révisé en 2012 (non encore en vigueur), à la Convention CEE-ONU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, la Suisse s'est engagée à atteindre d'ici 2020 les objectifs de réduction suivants (par rapport à 2005) : 41 % pour les émissions d'oxydes d'azote et 8 % pour les émissions d'ammoniac.

Nécessité d'agir

Se fondant sur les bases légales, la Confédération, les cantons et les communes ont pris un grand nombre de mesures qui concernent notamment l'industrie et l'artisanat, les installations de combustion et le trafic motorisé. En soumettant les émissions et les gaz d'échappement à des valeurs limites plus sévères, il a été possible de réduire nettement les émissions d'oxydes d'azote. Une nouvelle réduction de ces émissions, de l'ordre de 46 %, est attendue entre 2005 et 2020 (fig. 19), principalement grâce au renforcement des normes sur les gaz d'échappement des véhicules routiers. Ces mesures permettront de réaliser l'objectif international du Protocole de Göteborg. Mais il reste encore fort à faire pour atteindre l'objectif de la stratégie fédérale.

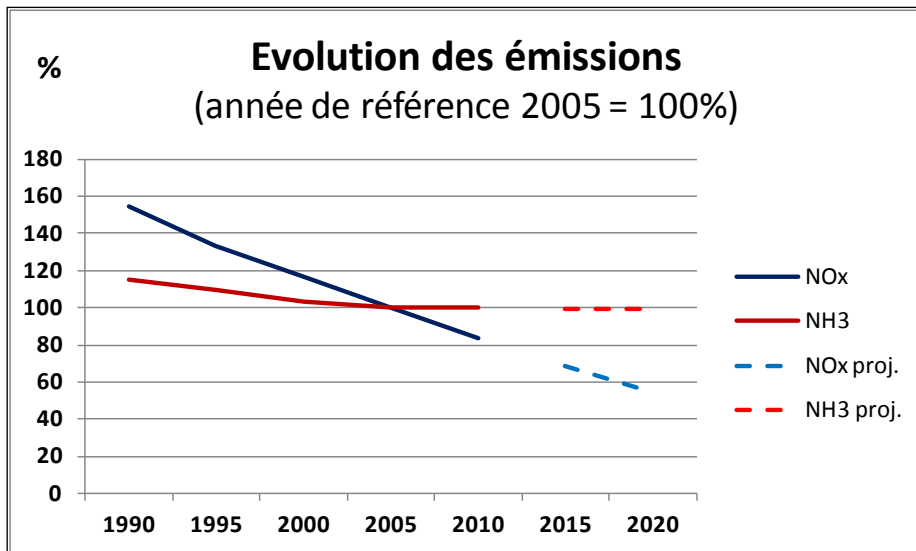


Fig. 19 : Évolution des émissions d'oxydes d'azote (NO_x) et d'ammoniac (NH₃)

Si les émissions d'ammoniac ont diminué dans l'agriculture, en particulier entre 1990 et 2000, c'est en raison d'une diminution du cheptel et de l'encouragement du pacage. Dans le cadre des programmes d'utilisation durable des ressources naturelles, on s'attache notamment depuis 2008 à promouvoir des techniques d'épandage des engrais générant peu d'émissions. À l'inverse, la promotion et la multiplication des stabulations libres dépourvues de mesures destinées à réduire les émissions d'ammoniac et l'absence de couvercle sur les fosses à purin ont même conduit à la construction d'installations qui ont accru les émissions. Par rapport aux résultats obtenus dans le domaine des oxydes d'azote, la réduction des émissions d'ammoniac est donc jusqu'ici demeurée modeste.

Perspectives

En l'absence d'autres mesures, on s'attend à une réduction des émissions d'ammoniac de 1 % entre 2005 et 2020, mais les programmes d'utilisation durable des ressources pourraient les abaisser encore de 6 à 7 %. La suppression des paiements directs pour le bétail, dans la PA 2014-2017 devrait diminuer le cheptel bovin et engendrer ainsi un recul des émissions d'ammoniac.

Les objectifs partiels fixés pour 2020 dans le Protocole de Göteborg devraient ainsi être atteints. Beaucoup reste néanmoins à faire pour réaliser l'objectif national défini dans la stratégie fédérale (FF 2009) et pour atteindre les objectifs environnementaux dans l'agriculture (OFEV et OFAG 2008) ainsi que ceux de la politique forestière 2020 (FF 2011).

Pour ce qui est des **oxydes d'azote**, trois quarts de leurs émissions proviennent toujours des moteurs à combustion. Avec le renforcement des valeurs limites pour les gaz d'échappement des véhicules routiers (Euro 6/Euro VI), que la Suisse met en vigueur en même temps que l'UE, les émissions devraient enregistrer une forte baisse ces prochaines années.

Selon la structure que l'approvisionnement en électricité adoptera à l'avenir, la construction de couplages chaleur-force décentralisés (CCF) ou de grandes centrales combinées alimentées au gaz

pourraient quant à elles engendrer d'importantes émissions supplémentaires. Les valeurs limites pertinentes figurant dans l'OPair n'ont pas encore été adaptées aux techniques les plus récentes. Il importe de veiller à ce que la construction et la promotion de ces nouvelles installations fassent appel aux meilleures technologies existantes, afin d'éviter ou de limiter une hausse des émissions d'oxydes d'azote.

En Suisse, 92 % des émissions d'**ammoniac** dans l'atmosphère sont d'origine agricole, et c'est l'élevage d'animaux de rente qui en est la cause première.

Les émissions accusent des taux élevés

- si, dans les étables et les stabulations libres, l'échange d'air est important au-dessus des surfaces souillées ;
- si l'urine et les excréments ne sont pas séparés et évacués rapidement vers des installations de stockage du lisier dotées d'une couverture ;
- si le purin n'est pas épandu à proximité du sol ;
- si le purin est utilisé sous forme non diluée et à des périodes inappropriées ;
- si le fumier n'est pas rapidement enfoui dans le sol après épandage.

Les émissions étant proportionnelles au nombre d'animaux, leur réduction passe en premier lieu par la prise de mesures au niveau de l'exploitation des animaux de rente. Il existe en principe un potentiel de réduction dans les trois domaines suivants : fonctionnement de l'étable, entreposage des engrais de ferme et épandage de ces engrais (OFEFP et OFAG 1996, CEE-ONU 2008, CEE-ONU 2012, OFEV et OFAG 2012).

Dans l'esprit d'une bonne pratique agricole, il s'agit d'appliquer les **techniques** les plus récentes afin de réduire les émissions. Nombre de ces techniques ont largement fait leurs preuves et sont prescrites et appliquées depuis des années dans certains pays (Danemark et Pays-Bas, p. ex.).

Voici des exemples de mesures efficaces correspondant aux techniques les plus récentes :

- **Étable**
 - **Systèmes de stabulation** : construire et exploiter des systèmes à faible taux d'émission permet de répondre aussi bien aux exigences en matière de protection de l'air qu'à celles régissant la protection des animaux, l'aspect principal étant la propreté. En d'autres termes, il s'agit d'assurer une séparation de l'urine et des excréments et leur évacuation rapide vers des installations de stockage couvertes, afin de limiter la libération d'ammoniac formé par hydrolyse de l'urée.
 - **Alimentation des animaux** : veiller à ce qu'elle corresponde aux besoins, afin de réduire les surplus de protéines.
- **Entreposage et épandage des engrais de ferme**
 - **Entreposage** : installer une couverture efficace pour éviter l'échange d'air au-dessus des matières stockées.
 - **Épandage de purin** : adopter un épandage à faible taux d'émission à proximité du sol, par exemple à l'aide d'un épandeur à tuyau souple (pendillard) ou, le cas échéant, par injection.
 - **Épandage de fumier** : enfouir le fumier dans le sol dans les heures qui suivent l'épandage.
 - **Organisation du recours aux engrais de ferme** : choisir en particulier un moment propice pour l'épandage, ce moment devant tenir compte des conditions météorologiques (épandre de préférence en l'absence de vent, par temps frais et humide) et de l'heure (de préférence le soir), et diluer le purin.
 - **Sous-produits de la méthanisation** : veiller à un entreposage et à un épandage à faible taux d'émission de ces produits secondaires de la production agricole ou artisanale de biogaz.

Certaines de ces recommandations sont au cœur de la réorientation de la PA 2014-2017 dans le cadre de la révision de la loi sur l'agriculture (RS 910.1) et de ses ordonnances d'application. Le Conseil fédéral propose un nouveau système de contributions à l'utilisation durable de ressources afin de promouvoir des mesures visant à réduire les émissions. Pour ce qui est de la protection de l'air, le respect de la législation en vigueur devrait constituer une condition pour l'octroi de contributions à des

améliorations structurelles. De telles mesures favoriseraient une réalisation plus rapide des systèmes de stabulation à faible taux d'émissions conformément à l'aide à l'exécution *Constructions rurales et protection de l'environnement*. Remplacer les paiements directs liés aux animaux par des paiements directs liés aux surfaces dans l'élevage bovin devrait conduire à une diminution du cheptel et, dès lors, à une réduction correspondante des émissions d'ammoniac.

Protoxyde d'azote ou gaz hilarant (N₂O)

Le protoxyde d'azote compte au nombre des gaz régis par le Protocole de Kyoto et par la loi sur le CO₂ révisée. Selon cette dernière, la Suisse s'engage à abaisser jusqu'en 2020 l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre de 20 % par rapport à 1990. Des mesures visant à réduire les émissions de protoxyde d'azote sont présentées dans la stratégie Climat pour l'agriculture (OFAG 2011). De plus, un net abaissement des apports d'azote atmosphérique permet aussi de réduire les émissions de protoxyde d'azote. Dans ce domaine, des synergies existent donc entre politique climatique et politique de protection de l'air.

6.2 Protection des eaux

6.2.1 Eaux souterraines

Objectifs de réduction (OFEV et OFAG 2008)

Objectif environnemental général

Au maximum 25 mg de nitrates par litre dans les eaux utilisées comme eau potable ou destinées à l'être.

Réduction de 50 % par rapport à 1985 des apports d'azote dans les eaux.

Objectif environnemental pour l'agriculture

Au maximum 25 mg de nitrates par litre dans les eaux utilisées comme eau potable ou destinées à l'être, et dont l'aire d'alimentation est consacrée en majeure partie à l'exploitation agricole.

Réduction des apports en azote d'origine agricole dans les eaux de 50 % par rapport à 1985.

Conformément à l'annexe 4, ch. 22, OEaux, les eaux souterraines utilisées comme eau potable ou destinées à l'être doivent respecter l'exigence chiffrée suivante : au maximum 25 mg de nitrates par litre d'eau. Si les eaux ne satisfont pas aux exigences, les cantons sont tenus, selon l'art. 47 OEaux, de déterminer les causes de la pollution, d'évaluer l'efficacité des mesures possibles et de prendre les mesures requises. Le rapport *Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz* (OFEV 1993) a déterminé qu'il était possible, dans le respect du cadre légal, économique et social d'alors, de réduire de 15 000 t les pertes annuelles d'azote d'origine agricole et qui parviennent dans les milieux aquatiques, et fixait l'échéance de réalisation à 2010 (38,5 % des émissions, qui totalisaient alors 39 000 t d'azote dans l'hydrosphère, dont 37 000 t sous forme de nitrates).

Nécessité d'agir

En Suisse, l'agriculture est aujourd'hui la principale source des émissions de nitrates, puisqu'elle y contribue à raison de 75 % (OFAG 2008, OFAG 2012). Chaque année, environ 34 000 t de nitrates sont lessivés sur les sols agricoles et parviennent dans les milieux aquatiques, principalement dans les eaux souterraines (relevé pour 2005, cf. OFEV 2010). Malgré l'introduction des prestations écologiques requises et des programmes au sens de l'art. 62a LEaux, le potentiel de réduction identifié en 1993 n'a été exploité qu'à 20 %, et une autre diminution de ces pertes de nitrates n'est pas en vue. L'usage des engrais minéraux stagne, tandis que les importations et l'utilisation de fourrages concentrés augmentent nettement. Il s'avère par ailleurs impossible de prévoir l'effet que la PA 2014-2017 aura sur le lessivage de nitrates. D'une part, certaines nouvelles incitations devraient induire une baisse des émissions (création de nouvelles surfaces de compensation écologique, promotion d'une

production de lait recourant à du fourrage grossier, couverture du sol en hiver) ; d'autre part, la volonté d'assurer la sécurité de l'approvisionnement tend à intensifier la culture des champs dans des sites peu propices et ainsi à accroître encore les déperditions de nitrates.

6.2.2 Eaux de surface

Objectifs de réduction

En Suisse, les principales voies d'apport d'azote dans les eaux de surface sont les effluents des stations communales d'épuration des eaux usées (STEP) et l'exfiltration ou le drainage des eaux provenant des terres agricoles (OFEFP 1993). En 1986, 45 000 t d'azote d'origine agricole et 42 000 t issues des eaux usées communales sont ainsi parvenues dans les eaux suisses.

Ce sont surtout le nitrite et l'ammoniac qui s'avèrent problématiques pour les eaux de surface. Selon les connaissances les plus récentes, les charges d'azote total ne posent actuellement pas de gros problème. La teneur en azote des mers peu profondes, telle la mer du Nord, joue cependant un rôle important dans leur eutrophisation (OFEFP 1996). La surfertilisation de la mer du Nord étant devenue de plus en plus apparente au cours des années 1980, les États riverains de la mer du Nord et la Commission internationale pour la protection du Rhin (CIPR) ont décidé de réduire de 50 % les apports d'azote et de phosphore dans la mer du Nord entre 1985 et 1995 (Stratégie OSPAR).

Étant membre de la CIPR, la Suisse s'est engagée à prendre les mesures qui s'imposent pour atteindre cet objectif. Un contrôle des résultats entrepris en 1995 a cependant révélé que, contrairement au cas du phosphore, l'apport d'azote n'avait de loin pas été réduit de 50 %, ni au plan national ni au plan international. Forte de ce constat, la Commission pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est (Commission OSPAR) a également inclus dans sa stratégie la lutte contre l'eutrophisation de l'Atlantique du Nord-Est et son retour à un état aussi naturel que possible. L'objectif prévoyant de réduire de 50 % les apports d'azote a été maintenu. Pour l'atteindre, il faudra surtout diminuer les apports d'azote d'origine agricole. Dans le domaine de l'épuration des eaux, des exigences plus strictes ont été définies en 1998 pour réglementer les déversements dans les milieux aquatiques sensibles (OFEV et OFAG 2008).

En ce qui concerne la charge d'azote dans les milieux aquatiques, le rapport *Objectifs environnementaux pour l'agriculture* prévoit une réduction de 50% par rapport à 1985 des apports d'azote d'origine agricole (OFEV et OFAG 2008).

Nécessité d'agir

Dans nombre de STEP suisses, l'élimination de l'azote est déjà une étape standard du traitement des eaux usées. On préconise en général que les STEP soient exploitées de façon à éliminer la plus grande quantité possible d'azote (annexe 3.1, ch. 3, n° 2, OEaux). Équiper toutes les STEP suisses d'une étape d'élimination de l'azote permettrait de réduire tout au plus de 6600 t supplémentaires la charge d'azote dans les eaux de surface. Dans le cadre des rénovations ordinaires des STEP ces prochaines années, certaines seront certainement optimisées, ce qui réduira les quantités d'azote déversées dans les eaux de surface. Quant à savoir si le potentiel d'élimination de l'azote sera entièrement réalisé, tout dépendra des conditions politiques, mais aussi de certaines données techniques.

Le bilan établi pour le bassin versant du Rhin en aval des lacs (REZGUS) montre que l'objectif visant à diminuer de 50 % les apports d'azote d'origine agricole est loin d'être atteint, puisque seule une réduction de 20 % est intervenue. Alors qu'ils avoisinaient 14 300 t en 1985, les apports d'azote se situent aux alentours de 11 400 t aujourd'hui (OSPAR 2008). Ce constat s'applique probablement à toute la Suisse. À titre de comparaison, relevons que les apports d'azote dus aux eaux usées communales ont été réduits de 45 %, passant de 18 000 t en 1985 à 9900 t en 2010 (Sieber 2011).

Compte tenu des mesures prises jusqu'ici et de celles en cours d'application au niveau des STEP, l'objectif de réduction de 50 % devrait bientôt être atteint dans le bassin versant du Rhin. Les normes

d'équipement des STEP ne cessant de s'améliorer, les stations devraient parvenir à réduire encore davantage les apports d'azote.

6.3 Protection des sols

Objectifs de réduction

Les charges critiques pour les dépôts d'azote atmosphérique dans les écosystèmes (*critical loads*) servent également à mesurer la réalisation des objectifs de réduction dans le domaine des sols.

Nécessité d'agir

Le sol est un milieu environnemental important et dynamique des écosystèmes agricoles et naturels, qui remplit aussi des fonctions de régulation pour l'air et l'eau. Les apports d'azote atmosphérique et les pertes directes d'origine agricole sont les principales voies d'apport de composés azotés dans le sol. Pour réduire cette pollution, il importe de bloquer ces voies d'apport.

Les mesures visant à réduire les excédents d'azote dans le sol présentent des liens indirects avec celles appliquées pour protéger l'air et celles prises dans l'agriculture afin de protéger l'environnement (épandage d'engrais de ferme respectueux de l'environnement, bilan de fumure équilibré, substitution d'engrais organiques aux engrais minéraux).

Avant de préconiser un travail minimal du sol (recours au semis direct, p. ex.), qui favorise la fixation du carbone et tend à équilibrer ses teneurs dans le sol, il faut toutefois mener d'autres recherches, car l'expérience a montré que les émissions de protoxyde d'azote peuvent augmenter durant les deux à trois ans qui suivent le passage au nouveau mode de culture.

Il importe aussi de prendre des mesures afin d'éviter la compaction des sols, car le manque d'oxygène, provoqué par l'amenuisement de l'espace interstitiel, peut engendrer des émissions supplémentaires de protoxyde d'azote dans l'atmosphère par l'activité des bactéries anaérobies présentes dans les sols.

7 Conclusions

Les mesures et les objectifs écologiques présentés jusqu'ici dans les stratégies de la Confédération destinées à réduire la pollution azotée ont été repris dans les politiques agricole et environnementale, et certaines mesures ont déjà été mises en œuvre. La Suisse est toutefois loin des objectifs fixés. Beaucoup reste donc à faire pour atteindre les objectifs environnementaux pour l'agriculture (OFEV et OFAG 2008), mettre en œuvre la stratégie de protection de l'air (FF 2009) et réaliser les objectifs de la politique forestière 2020 (FF 2011).

- Les dépôts d'azote atmosphérique sont trop élevés dans 90 % des écosystèmes forestiers et 50 % des biotopes très sensibles aux surplus d'azote (marais et prairies sèches, p.ex.).
- Les quantités d'azote que le Rhin transporte vers la mer du Nord sont nettement supérieures aux valeurs de l'état naturel.
- Sur les surfaces agricoles, les nitrates sont lessivés en trop grandes quantités et parviennent dans les eaux souterraines.
- Les émissions de protoxyde d'azote à partir des sols sont trop élevées.
- La charge de NO₂ dans l'air est excessive le long des routes très fréquentées.
- Les polluants atmosphériques azotés contribuent par ailleurs à la formation d'ozone troposphérique et de poussières fines.

Si des objectifs de réduction ont certes été fixés, il s'avère difficile de les atteindre, en particulier dans l'agriculture, secteur où d'autres mesures concrètes s'imposent.

Il importe toutefois aussi de sensibiliser la population à la problématique de l'azote. Une prise de conscience est surtout nécessaire du côté des fabricants, des fournisseurs et des consommateurs de produits agricoles. Il sera alors possible de mettre en place des incitations financières, mais aussi de définir des exigences claires en matière de durabilité, afin d'exercer une plus grande pression économique et politique sur l'agriculture, de l'obliger à innover et à se tourner vers une production respectueuse de l'environnement.

8 Bibliographie

CEE-ONU 2012 : Guidance document on best available techniques for reducing ammonia emission in the agriculture :

http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2012/air/Draft_guidance_document_for_preventing_and_abating_ammonia_emissions_from_agricultural_sources.pdf

CEE-ONU 2007 : Document d'orientation sur les techniques de prévention et de réduction des émissions d'ammoniac. Nations Unies, Conseil économique et social, Commission économique pour l'Europe, ECE/EB.AIR/WG.5/2007/13. Sous rapports dans :

<http://www.bafu.admin.ch/luft/11640/11641/index.html?lang=fr>

CEE-ONU 2010 : Charges critiques empiriques et relations dose-effet. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, Groupe de travail des effets, ECE/EB.AIR/WG.1/2010/14.

CFHA 1989 : L'ozone en Suisse. Rapport de situation de la Commission fédérale pour l'hygiène de l'air (CFHA). Office fédéral de l'environnement, de la forêt et du paysage (OFEFP, éd.), Cahier de l'environnement n° 101, Berne 1989.

CFHA 2005 : Les polluants atmosphériques azotés en Suisse. Rapport de la Commission fédérale de l'hygiène de l'air (CFHA). Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP, éd.), Cahier de l'environnement n° 384, Berne, 2005.

Commission européenne, Science for Environment Policy, In-depth report : Nitrogen pollution and the European Environment, Implications for Air Quality Policy ; septembre 2013

<http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/IR6.pdf>.

EMPA, Chemische Zusammensetzung des Feinstaubes während der Smoglagen im Januar/Februar 2006, Empa n° 203'056/4, Dübendorf, novembre 2006.

The European Nitrogen Assessment : Sources, Effects and Policy Perspectives, éd. : M. Sutton et al., Cambridge University Press, 2011.

FF 1999 : Rapport du 23 juin 1999 sur les mesures d'hygiène de l'air adoptées par la Confédération et les cantons (FF 1999 6983-7007).

FF 2009 : Rapport du 11 septembre 2009 – Stratégie fédérale de protection de l'air (FF 2009 5941-5972).

FF 2011 : Politique forestière 2020, approuvée par le Conseil fédéral le 31 août 2011 (FF 2011 8025-8048).

FUB 2013 : Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2012. Messbericht.

Bureau de recherche pour l'observation de l'environnement (FUB, éd.) avec résumé en français sur le site : <http://www.bafu.admin.ch/luft/00585/10770/index.html?lang=fr>

Heldstab, Jürg; Leippert, Fabio; Wüthrich, Philipp; Künzle, Thomas; 2011 : NO₂ ambient concentrations in Switzerland. Modelling results for 2005, 2010, 2015. Office fédéral de l'environnement (OFEV, éd.) (Environmental studies, 1123), Berne, 2011.

Hügli, C. et al. 2012 : Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub, EMPA, Dübendorf, 2012.

Landolt E. et al. 2010 : Flora indicativa, Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen, Haupt Verlag, Berne, 2010.

NAQUA 2013 : Nitrates dans les eaux souterraines, Réseau national d'observation de la qualité des eaux souterraines (NAQUA),

<http://www.bafu.admin.ch/grundwasser/07500/07563/07577/index.html?lang=fr>.

OFAG 2011 : Stratégie Climat pour l'agriculture, Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Berne, 2011, <http://www.blw.admin.ch/themen/00010/00071/00265/index.html?lang=fr>.

OFEFP et OFAG 1996 : *Stratégie de réduction des émissions d'azote*, élaboré en 1996 sur mandat du DFI et du DFE (OFEFP et OFAG 1996. Edité par l'Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP) en collaboration avec l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Cahier de l'environnement n° 273, Berne, 1996.

OFEFP 1993 : Der Stickstoffhaushalt der Schweiz. Cahier de l'environnement n° 209. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Berne, 1993.

OFEFP 2005 : Stratégie de lutte contre la pollution de l'air. Bilan et actualisation. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), Cahier de l'environnement n° 379, 172 p., Berne, 2005

OFEV 2010 : Stickstoffflüsse in der Schweiz. Stoffflussanalyse für das Jahr 2005 (avec résumé en français), Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne, 2010.

OFEV 2012 : NABEL – La pollution de l'air en 2011. Résultats du Réseau national d'observation des polluants atmosphériques (NABEL). Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne, 2012

OFEV 2013 : Flux d'azote en Suisse en 2020 (Résumé). Scénario de base et hypothèses. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne, 2013.

http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01713/index.html?lang=fr&show_kat=/publikation/n/00016

OFEV et OFAG 2008 : Objectifs environnementaux pour l'agriculture. À partir de bases légales existantes. Connaissance de l'environnement n° 0820. Office fédéral de l'environnement (OFEV) et Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Berne, 2008.

OFEV et OFAG 2012 : Aide à l'exécution pour la protection de l'environnement dans l'agriculture, <http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/01308/10890/index.html?lang=fr>.

OFEV, 2012a : Nährstoffangebot im Boden, Basisdaten aus dem Biodiversitäts-Monitoring Schweiz BDM zum Indikator E6. Office fédéral de l'environnement (OFEV), Berne.

OMM 2012 : Bulletin de l'OMM sur les gaz à effet de serre n° 8/novembre 2012, Organisation météorologique mondiale.

OMS 2013 : Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project. First results. Organisation mondiale de la santé (OMS), Bureau régional de l'Europe, Copenhague, 2013.

OSPAR 2008 : Towards the 50% reduction target for nutrients ; Assessment of Implementation of PARCOM Recommendations 88/2 and 89/4. Londres, 2008.

Ravishankara, A. R. et al. 2009 : Nitrous Oxide (N₂O) : The Dominant Ozone-Depleting Substance emitted in the 21st Century, Science 326, 123 (2009) ; DOI : 10.1126/science.1176985.

Roth, T. ; Kohli, L., Rihm, B., Achermann, B. 2013 : Nitrogen deposition is negatively related to species richness and species composition of vascular plants and bryophytes in Swiss mountain grassland. Agriculture, Ecosystems and Environment 178, 121-126.

Sieber, Ulrich 2011 : Anwendung der Kennzahlen auf nationaler Ebene. Exposé présenté à Berne le 25 novembre 2011.

Strähl, Sabrina et Thomann, Michael 2013 : Stickstoffelimination in Schweizer ARA. Aqua & Gas n° 5, 2013, p. 74 – 84.

UBA : Stickstoff – zu viel des Guten? Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren ; commandes : www.umweltbundesamt.de.

United States Environmental Protection Agency (éd.) 2008 : Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen - Health Criteria. Research Triangle Park, NC (600/R-08/071).