



Commission économique pour l'Europe

Organe exécutif de la Convention sur la pollution
atmosphérique transfrontière à longue distance

Groupe de travail des stratégies et de l'examen**Cinquante-neuvième session**

Genève, 18-21 mai 2021

Points 3 et 4 de l'ordre du jour provisoire

Progrès accomplis dans la mise en œuvre du plan de travail pour 2020-2021

**Examen du caractère suffisant et efficace du Protocole relatif à la réduction
de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique**

Rapport d'évaluation sur l'ammoniac**Résumé*

Le présent rapport a été établi par l'Équipe spéciale des modèles d'évaluation intégrée en coopération avec l'Équipe spéciale des mesures et de la modélisation et l'Équipe spéciale de l'azote réactif conformément au point 1.1.3.3 du plan de travail 2020-2021 relatif à la mise en œuvre de la Convention (ECE/EB.AIR/144/Add.2).

On y trouvera une analyse stratégique concise de la question de l'ammoniac fondée sur l'essentiel des données et des conclusions issues de diverses études effectuées dans ce domaine. Les émissions d'ammoniac contribuent au même titre que les émissions d'oxydes d'azote à l'eutrophisation et à l'acidification, ainsi qu'à la formation de particules secondaires. Les mesures prises au cours des dernières décennies ont davantage porté sur la réduction des émissions d'oxydes d'azote que sur celle des émissions d'ammoniac. Le but de ce rapport est de mettre en lumière les avantages de l'atténuation des émissions d'ammoniac et d'encourager la ratification et la mise en œuvre du Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique. Ses annexes figurent dans le document informel n° 1 de la session.

* La version originale du présent document n'a pas été revue par les services d'édition.



I. Résumé

1. Les émissions d'ammoniac ont beaucoup moins diminué au cours des dernières décennies que celles d'autres polluants tels que les oxydes de soufre et d'azote. L'ammoniac est la principale source de dépôts excessifs d'azote sur les écosystèmes vulnérables. Ce gaz joue également un rôle important dans l'exposition de la population aux particules fines (PM_{2,5}). À l'intérieur et autour des régions à forte charge de bétail, l'ammoniac est responsable de plus de 50 % des dépôts d'azote et de l'exposition aux particules. Dans ces régions, l'inaction coûterait certainement plus cher que les mesures à prendre. Cette atteinte à l'environnement n'est pas répercutée sur les coûts de production ou sur les prix de la viande et des produits laitiers.

2. Pour protéger les écosystèmes et la santé, il convient de réduire de 30 à 50 % les émissions d'ammoniac dans les zones de la région de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (CEE) fortement chargées en bétail et où l'on utilise des engrais azotés. Il existe suffisamment de solutions techniques pour réduire les émissions d'ammoniac (jusqu'à environ 50 % de réduction), mais dans certaines régions (celles où les mesures les plus économiques ont déjà été mises en œuvre), il peut être indispensable de réduire la concentration du bétail si l'on veut préserver les habitats naturels protégés par la législation.

3. Les émissions d'ammoniac dans l'atmosphère vont de pair avec une utilisation inefficace des nutriments azotés. En outre, en couvrant les fumiers et en épandant ce matériau de façon optimale pendant la saison de végétation, on peut diminuer la consommation d'engrais simplement et à peu de frais. Le recours à des techniques d'épandage de fumier à faibles émissions est la manière la plus efficace de réduire les émissions d'ammoniac. Compte tenu des marges bénéficiaires actuelles des agriculteurs, la réduction des émissions des écuries au moyen d'épurateurs d'air n'est financièrement envisageable que pour les grandes exploitations, sauf si l'innovation technique permet d'en réduire le coût. Il existe plusieurs solutions pour rentabiliser la réduction des émissions d'ammoniac provenant de l'urée et d'autres engrais. La réduction des émissions d'ammoniac permet d'utiliser plus efficacement l'azote, et elle présente des avantages pour la qualité de l'air et de l'eau, le climat, la biodiversité et la santé.

II. L'ammoniac en Europe

A. Situation et tendances actuelles

4. En Europe et dans le monde, les émissions d'ammoniac varient énormément d'une région à l'autre. Les zones à forte densité d'émissions sont celles où la biodiversité diminue fortement et où la part des particules secondaires dans l'exposition de la population à la pollution atmosphérique est importante, tant dans les zones concernées que dans les régions voisines. Les particules secondaires jouent un rôle important dans les flux transfrontaliers de pollution atmosphérique et dans la qualité de l'air dans de vastes zones de l'Europe et de l'Amérique du Nord.

5. Dans les zones à fort chargement en bétail, les émissions par hectare sont trois à cinq fois plus élevées que la moyenne européenne (voir la figure I ci-dessous). Les émissions d'ammoniac sont principalement dues à l'excrétion du fumier dans les étables, ainsi qu'au stockage et à l'épandage de ce matériau. On estime qu'à l'échelle mondiale les engrais émettent autant d'ammoniac que le bétail, en grande partie à cause de l'utilisation d'urée¹. Les émissions provenant des engrais sont plus faibles en Europe parce que, malgré l'utilisation croissante des engrais à base d'urée, les engrais au nitrate d'ammonium y prédominent. Une petite partie (environ 10 %) des émissions annuelles d'ammoniac provient de l'industrie, des ménages et de la circulation.

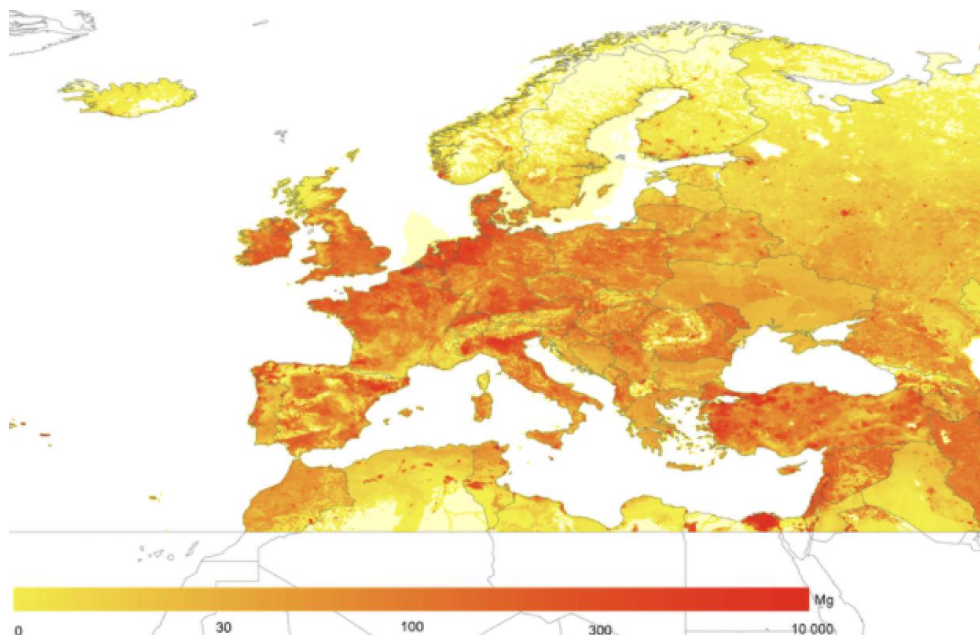
¹ A. Uwizye, I. J. M. de Boer, C. I. Opio *et al.* (2020) Nitrogen emissions along global livestock supply chains. *Nat Food* 1, 437 à 446, <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0113-y>.

6. Les dépôts excessifs d'azote peuvent contribuer à la disparition d'espèces de végétaux, de papillons et d'oiseaux (voir la figure II ci-dessous)². En Europe, on le constate également dans les zones à forte densité de circulation et d'émissions d'oxydes d'azote. Plus la résolution spatiale des cartes des écosystèmes est élevée, plus il est possible de détecter les zones naturelles sensibles. Certaines espèces de plantes et des lichens sensibles sont également menacées par l'exposition directe à de fortes concentrations d'ammoniac. En outre, les émissions d'ammoniac contribuent à l'eutrophisation du milieu marin, un problème particulièrement aigu en mer Baltique.

7. Les responsables politiques ont récemment pris conscience du fait que non seulement les émissions d'ammoniac réduisaient la biodiversité, mais qu'elles contribuaient également pour une bonne part à l'exposition de la population aux particules et aux risques sanitaires connexes³. Dans de vastes régions d'Europe, plus de la moitié des concentrations de particules anthropiques ne sont pas émises directement : elles sont produites par la réaction, dans l'atmosphère, entre l'ammoniac et les oxydes d'azote ou le dioxyde de soufre (ce sont les particules dites secondaires) (voir la figure III ci-dessous). En outre, en Amérique du Nord et en Asie, le rôle de l'ammoniac dans la formation des particules fait l'objet d'une attention accrue⁴.

Figure I

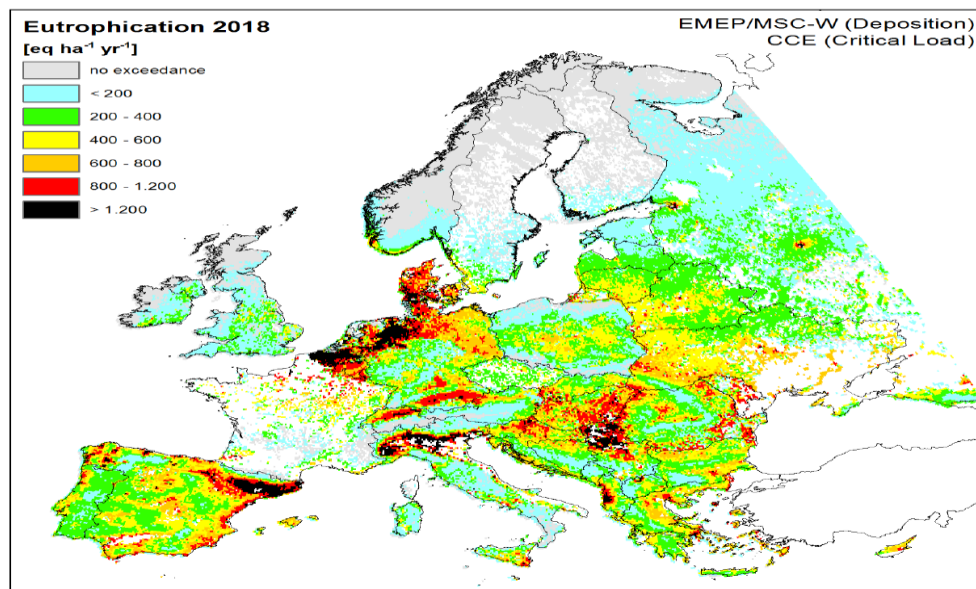
Émissions d'ammoniac en 2018, en kg de NH₃ par km²



Source : <https://www.ceip.at/the-emep-grid/gridded-emissions/nh3>.

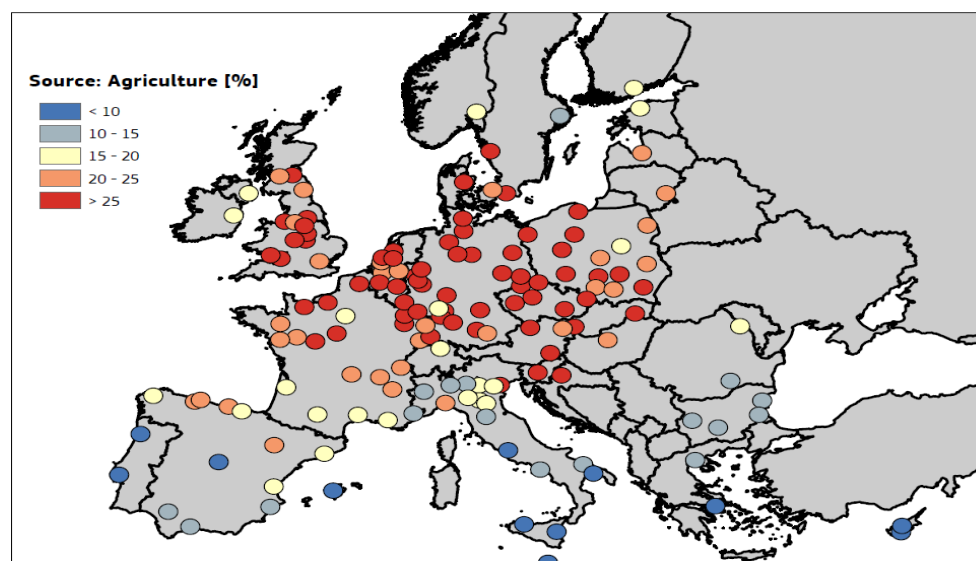
- ² A. Feest, A. van Hinsberg et C. van Swaay (2014), Nitrogen deposition and the reduction of butterfly biodiversity quality in the Netherlands, *Ecological Indicators*, vol. 39, p. 115 à 119, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.008> ; M. Hendrik, A. van Hinsberg, P. Janssen et B. de Knecht (éd.) (2016), BIOSCORE 2.0 – A species-by-species model to assess *anthropogenic impacts on terrestrial biodiversity in Europe*, PBL/WUR.
- ³ R. Maas et P. Grennfelt (éd.) (2016), *Towards Cleaner Air*, Scientific Assessment Report 2016, ECE, <http://www.unece.org/index.php?id=42861>.
- ⁴ J. Plautz (2018), Piercing the haze – Ammonia, a poorly understood smog ingredient, could be key to limiting deadly pollution, *Science Magazine* 13 septembre 2018 ; Purohit *et al.* (2019), Mitigation pathways towards national ambient air quality standards in India. *Environnement International* 133 : e105147. DOI:10.1016/j.envint.2019.105147.

Figure II
Dépassement de la charge critique pour l'azote en 2018



Sources : Centre de synthèse météorologique-Ouest de l'EMEP et Centre de coordination pour les questions chimiques.

Figure III
Proportion d'aérosols secondaires liés à l'ammoniac dans les concentrations urbaines de PM_{2,5} (2015)



Source : Centre commun de recherche (CCR).

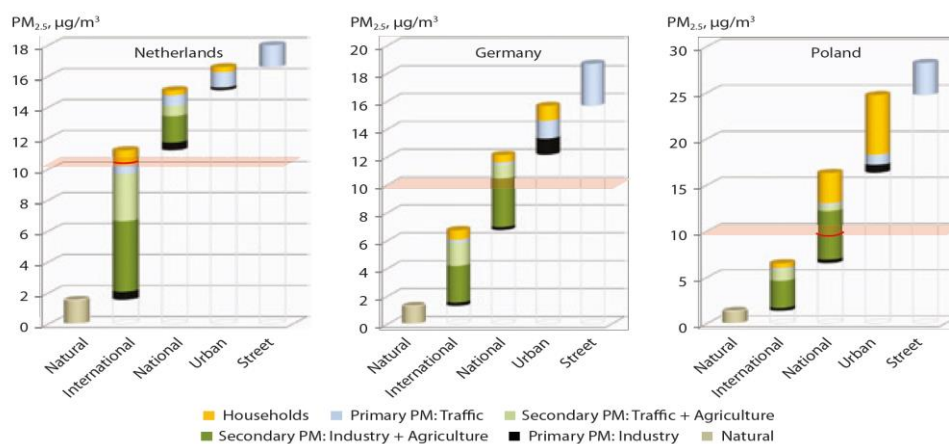
8. La figure IV ci-après met en lumière l'origine des concentrations de particules dans les villes (mesurées en PM_{2,5} – particules d'un diamètre inférieur à 2,5 micromètres) en 2009. Les zones vert clair et vert foncé représentent les particules secondaires (nitrates d'ammonium et sulfates d'ammonium, respectivement) qui sont toutes deux liées aux émissions d'ammoniac. La ligne rose figure le niveau recommandé par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) pour la qualité de l'air, soit 10 microgrammes par m³. La figure V ci-dessous montre la répartition des sources d'émissions à Bruxelles. Selon le modèle SHERPA (Screening for High Emission Reduction Potentials for Air quality) du

⁵ Lignes directrices de l'OMS relatives à la qualité de l'air pour les particules, l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre, OMS (2006).

Centre commun de recherche de la Commission européenne, le secteur qui génère le plus de $PM_{2,5}$ est l'agriculture, en raison de ses émissions d'ammoniac. Dans les pays du Benelux et dans les régions voisines de l'Allemagne et de la France, plus de 50 % de la concentration moyenne de $PM_{2,5}$ est imputable aux particules secondaires. Selon le modèle du Programme concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP), les pays étrangers contribuent pour 70 à 80 % aux concentrations de $PM_{2,5}$ secondaires dans les pays du Benelux.

Figure IV

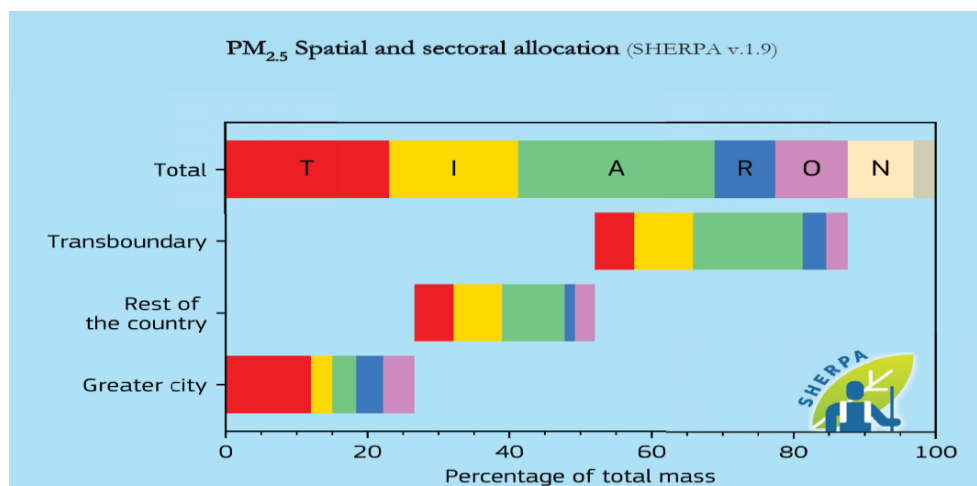
Origine des concentrations de fond de particules en milieu urbain aux Pays-Bas, en Allemagne et en Pologne selon le modèle des interactions et des synergies entre les gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique



Source : International Institute for Applied System Analysis (IIASA).

Figure V

Origine des concentrations de fond de particules à Bruxelles selon le modèle SHERPA



Source : CCR, 2017.

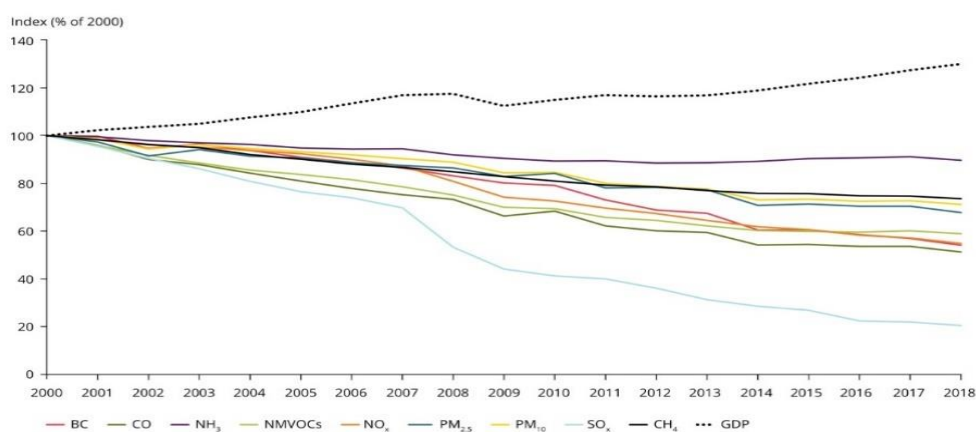
9. Dans les villes, les valeurs limites de qualité atmosphérique fixées par l'Union européenne en ce qui concerne les particules sont souvent dépassées pendant les semaines où le temps est sec et les émissions d'ammoniac élevées, par exemple au début du printemps lorsque le fumier stocké pendant l'hiver est épandu sur les terres agricoles⁶.

⁶ Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (2015), Observation et analyse en temps quasi-réel des épisodes de pollution particulaire de mars 2015. Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air.

10. En Europe et en Amérique du Nord, la diminution des émissions d'ammoniac est très modeste depuis l'an 2000 en comparaison des résultats atteints pour d'autres polluants tels que le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x) et les particules primaires (voir la figure VI ci-dessous). Dans son rapport sur les tendances, l'EMEP montre que les concentrations d'ammonium observées par ses stations de surveillance de la pollution de fond ne révèlent aucune tendance notable à la baisse pour l'ensemble de l'Europe après l'an 2000 (voir la figure VII ci-dessous)⁷, même si l'on observe parfois une diminution conséquente des concentrations de particules d'ammonium au niveau régional (une réduction de 48 % a ainsi été observée dans le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord entre 1999 et 2014)⁸. On estime que la principale explication de cette réduction est la diminution des émissions de SO₂ et de NO_x, dont la conséquence est l'augmentation de la durée de vie de l'ammoniac dans l'atmosphère, ce que révèle l'augmentation tendancielle des concentrations d'ammoniac dans les régions éloignées⁹.

Figure VI

Tendances en matière d'émissions dans l'Union européenne à 28 (2000 = 100 ; la deuxième courbe à partir du haut est celle de l'ammoniac ; la courbe du bas est celle du soufre)



Source : Agence européenne pour l'environnement (AEE).

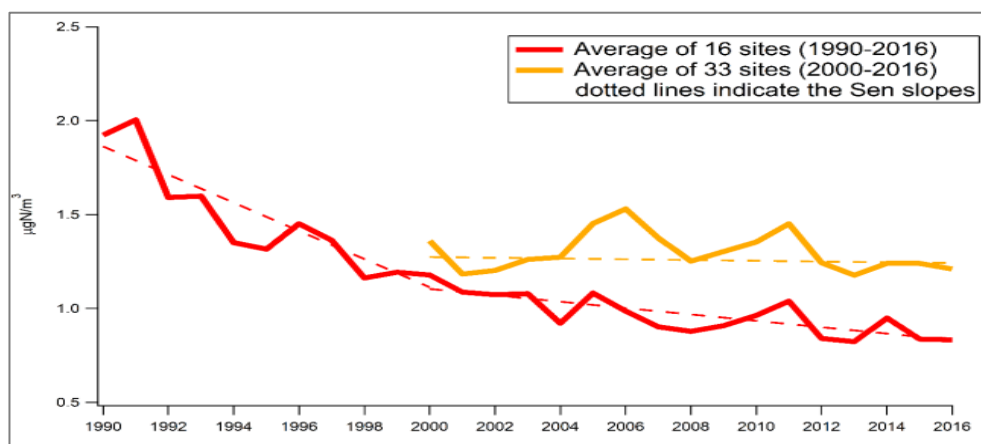
⁷ EMEP (2016) Air Pollution trends in the EMEP-region, EMEP/CCC-report 2016/1.

⁸ Tang *et al.* (2018), Drivers for spatial, temporal and long-term trends in atmospheric ammonia and ammonium in the UK, Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 18 n° 2, <https://www.atmos-chem-phys.net/18/705/2018/>.

⁹ Ces constatations corroborent une comparaison antérieure de l'évolution de l'ammoniac, de l'ammonium et des dépôts humides à travers l'Europe mise en relation avec les émissions d'ammoniac, de SO₂ et de NO_x. Voir : Bleeker *et al.* (2009), Linking ammonia emission trends to measured concentrations and deposition of reduced nitrogen at different scales ; Horváth *et al.*, H. Fagerli et M. A. Sutton (2009), Long-Term Record (1981-2005) of ammonia and ammonium concentrations at K-Puszta Hungary and the effect of sulphur dioxide emission change on measured and modelled concentrations, chap. 12, in *Atmospheric Ammonia: Detecting emission changes and environmental impacts* (éd. M. A. Sutton, S. Reis et S. M. H. Baker), p. 181 à 186, Springer.

Figure VII

Diminution des concentrations moyennes d'azote dans l'air et les aérosols en Europe, observée par les stations de surveillance de la pollution de fond de l'EMEP (somme de NH_3 et NH_4 en $\mu\text{gN}/\text{m}^3$)



Source : EMEP Chemical Coordination Centre.

Note : Les stations de surveillance de la pollution de fond ne sont pas représentatives pour les zones à forte charge de bétail.

11. Les prévisions pour l'Europe en matière d'émissions montrent également que l'avenir réserve une diminution des émissions d'ammoniac relativement faible, si l'on s'appuie uniquement sur la législation actuelle, en comparaison de la réduction des émissions de SO_2 , de NO_x et de particules primaires, pour lesquelles des initiatives fortes ont été prises pour la période 2020-2030¹⁰.

12. L'Union européenne et plusieurs pays ont fait de la valeur de référence définie par l'OMS¹¹ pour les $\text{PM}_{2,5}$ leur objectif à long terme (voir par exemple le programme « Air pur pour l'Europe » – CE, 2013). Toutefois, la ventilation des concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ source par source (voir les figures IV et V ci-dessus) montre clairement que dans de nombreuses villes il ne sera pas possible de respecter la limite fixée par l'OMS pour ces particules si l'on ne réduit pas considérablement les émissions d'ammoniac, d'oxydes d'azote et de dioxyde de soufre à l'échelle de la région. En ce qui concerne les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre, les émissions doivent impérativement diminuer d'environ 60 % sur la période 2005-2030 à l'échelle de l'Union européenne en vertu de la directive révisée sur les plafonds d'émission nationaux¹² (directive PEN), mais pour l'ammoniac, l'obligation de réduction n'est que de 5 % (avant 2030) puis de 15 % (après 2030). Les obligations de réduction des émissions varient considérablement d'un pays à l'autre (voir le tableau 1 ci-dessous). Pour plusieurs pays, l'obligation de réduction des émissions d'ammoniac pour 2020 est modeste et une réduction plus importante est envisagée pour 2030 et au-delà.

¹⁰ Commission européenne (2013), Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil relative à la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques et modifiant la Directive 2003/35/CE (COM(2013) 920 final).

¹¹ L'OMS conseille de réduire l'exposition aux $\text{PM}_{2,5}$ à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

¹² Directive (UE) 2016/2284 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques, modifiant la Directive 2003/35/CE et abrogeant la Directive 2001/81/CE, *Journal officiel de l'Union européenne*, L 344, 2016, p. 1 à 31.

Tableau 1
Exigences en matière de réduction des émissions à l'horizon 2020 et à l'horizon 2030 en vertu de la directive révisée sur les plafonds d'émission nationaux, pour certains pays (en pourcentage du niveau de 2005)

	NH_3		NO_x		SO_2		$PM_{2.5}$ primaires	
	2020	PEN-2030	2020	PEN-2030	2020	PEN-2030	2020	PEN-2030
Allemagne	5	29	39	65	21	58	26	43
Belgique	2	13	41	59	43	66	20	39
Danemark	24	24	56	68	35	59	33	55
France	5	13	50	69	55	77	27	57
Italie	5	16	40	65	35	71	10	40
Pays-Bas	13	21	45	61	28	53	37	45
Royaume-Uni	8	16	55	73	59	88	30	46
Union européenne à 28	6	19	42	63	59	79	22	49

Source : Directive de l'Union européenne sur les plafonds d'émission nationaux.

13. Il est possible de limiter la formation de particules secondaires en diminuant les émissions d'oxydes d'azote et de dioxyde de soufre ou les émissions d'ammoniac, ou les deux. Une molécule d'ammoniac et une molécule de nitrate (ou d'acide nitrique) sont nécessaires pour former une particule de nitrate d'ammonium dans l'air (tandis que la réaction de deux molécules d'ammoniac avec une molécule d'acide sulfurique donne une particule de sulfate d'ammonium). Les oxydes d'azote et le dioxyde de soufre se raréfiant, la proportion des émissions d'ammoniac transformée en aérosols secondaires diminue. C'est ce que révèle l'augmentation du rapport entre l'ammoniac gazeux et les concentrations de particules d'ammonium¹³. Plusieurs autres changements sont à prévoir, mais leur effet net reste incertain. Une proportion d'ammoniac plus forte est susceptible de nuire davantage aux groupes de plantes sensibles¹⁴. Inversement, les taux globaux d'absorption de l'ammoniac par le sol (par dépôt sec) peuvent diminuer, en raison de la moindre acidité de la surface¹⁵. Le résultat net peut être l'allongement de la durée de vie dans l'atmosphère de l'ammoniac émis, et donc l'augmentation des concentrations d'ammoniac (Tang *et al.*, 2020) et des dépôts dans des endroits plus éloignés des sources. Toutefois, comme l'ammonium se déplace sur de plus grandes distances que l'ammoniac, l'effet net sur les dépôts d'azote total et les dépassements de charges critiques dans les régions éloignées à écosystèmes sensibles et à faibles émissions d'ammoniac, par exemple en Europe du Nord, pourrait être négatif.

14. Ce qui est clair, c'est que l'ammoniac et le nitrate d'ammonium sont désormais prépondérants dans la charge de polluants atmosphériques inorganiques en Europe¹⁶. Si le dépôt d'azote peut avoir des effets bénéfiques sur le stockage du carbone dans les zones

¹³ AEE (2018), Rapport sur les particules et l'agriculture ; Tang *et al.* (2018), Drivers for spatial, temporal and long-term trends in atmospheric ammonia and ammonium in the UK, Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 18 n° 2, <https://www.atmos-chem-phys.net/18/705/2018/>.

¹⁴ Sheppard *et al.* (2011), Dry deposition of ammonia gas drives species change faster than wet deposition of ammonium ions: evidence from a long-term field manipulation, Global Change Biology 17, 3589 à 3607. (DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02478.x).

¹⁵ C. Flechard, D. Fowler, M. A. Sutton et J. N. Cape (1999), Modelling of ammonia and sulphur dioxide exchange over moorland vegetation, Q. J. R. Met. ONU 125, 2611 à 2641.

¹⁶ Tang *et al.* (2020), Pan-European rural atmospheric monitoring network shows dominance of NH_3 gas and NH_4NO_3 aerosol in inorganic pollution load, Atmos. Chem. Phys. Discuss., <https://doi.org/10.5194/acp-2020-275>.

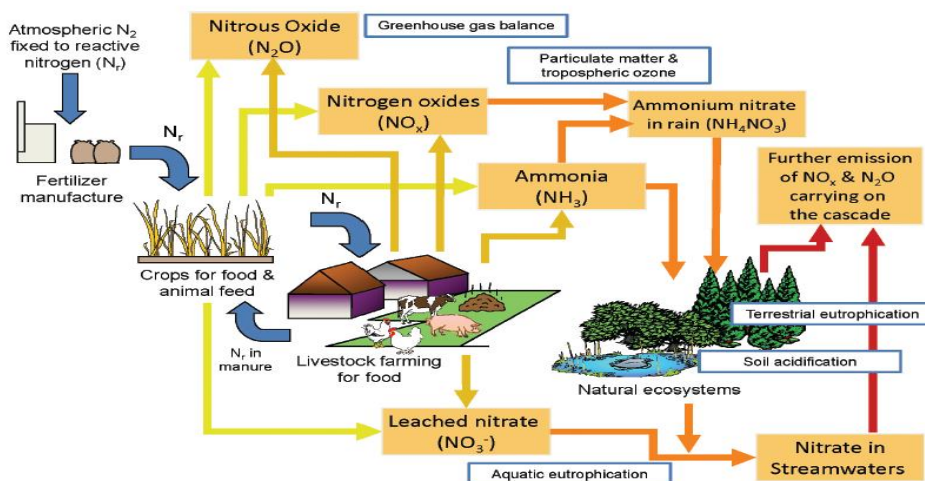
forestières éloignées des terres agricoles¹⁷, il devrait néanmoins avoir une incidence sur les zones où la biodiversité est fragile.

15. Il faudrait davantage réduire les émissions d'ammoniac pour éviter le dépassement des valeurs de référence définies par l'OMS pour les concentrations de particules, ainsi que le dépassement des charges critiques pour les écosystèmes. Dans les régions à forte charge de bétail, il serait nécessaire de réduire les émissions de 30 à 50 % pour atteindre ces objectifs à long terme. Il faut en outre tenir compte du fait que, les émissions d'ammoniac variant considérablement d'un endroit à l'autre, il peut être nécessaire d'obtenir des réductions encore plus importantes pour protéger des habitats naturels situés à côté de sources d'émissions d'ammoniac, voire de relocaliser les activités émettrices pour les éloigner le plus possible des habitats vulnérables¹⁸.

16. Les émissions d'ammoniac ne sont pas la seule source de dissémination des nutriments azotés provenant de l'agriculture dans l'environnement. Les autres déperditions d'azote réactif sont la lixiviation des nitrates vers les eaux souterraines et les cours d'eau, les émissions d'oxyde nitreux (le N_2O , un puissant gaz à effet de serre) et les émissions d'oxydes d'azote provenant des terres agricoles (voir la figure VIII ci-dessous).

Figure VIII

Vue simplifiée de la cascade de l'azote dans l'agriculture



Source : Summary for Policy Makers of the European Nitrogen Assessment.

17. Il est nécessaire de mettre en œuvre une stratégie intégrée pour que les mesures de réduction des émissions d'ammoniac n'aggravent pas d'autres problèmes liés à l'azote, mais aussi pour optimiser les synergies potentielles. Sous l'angle strict du terrain, il serait possible de réduire les émissions d'ammoniac en ayant recours à l'injection profonde de fumier dans les prairies, mais l'emploi de cette technique risquerait d'aggraver la lixiviation des nitrates vers les eaux souterraines ou les émissions d'oxyde nitreux. En fait, les interactions sont complexes aussi bien à l'échelle des exploitations agricoles que des territoires, car la

¹⁷ Flechard *et al.* (2020a), Carbon/nitrogen interactions in European forests and semi-natural vegetation. Première partie : Fluxes and budgets of carbon, nitrogen and greenhouse gases from ecosystem monitoring and modelling, *Biogeosciences* 17, 1583 à 1620, <https://doi.org/10.5194/bg-17-1583-2020> ; Flechard *et al.* (2020b), Carbon/nitrogen interactions in European forests and semi-natural vegetation. Deuxième partie : Untangling climatic, edaphic, management and nitrogen deposition effects on carbon sequestration potentials, *Biogeosciences* 17, 1621 à 1654, <https://doi.org/10.5194/bg-17-1621-2020>.

¹⁸ U. Dragosits, M. R. Theobald, C. J. Place, H. M. ApSimon et M. A. Sutton (2006), The potential for spatial planning at the landscape level to mitigate the effects of atmospheric ammonia deposition, *J. Environ. Sci. & Policy* 9, 626 à 638 ; Loubet *et al.* (2009), Ammonia deposition near hot spots : processes, models and monitoring methods, chap. 15, in *Atmospheric Ammonia: Detecting emission changes and environmental impacts* (éd. M. A. Sutton, S. Reis et S. M. H. Baker), p. 205 à 267, Springer.

réduction des émissions d'ammoniac entraîne une diminution de l'oxyde nitreux dans les zones boisées et les espaces naturels, tandis que la réduction des déperditions d'ammoniac permet d'économiser l'azote, et donc d'utiliser moins d'engrais. Une bonne gestion peut produire, comme résultat net, une amélioration globale de l'efficacité du système, conséquence d'une diminution des émissions d'oxyde nitreux et du lessivage des nitrates. Ces stratégies peuvent donc aider à favoriser une économie circulaire de l'azote¹⁹.

18. Il peut également y avoir des synergies et des équilibres au-delà du cycle de l'azote. Les déperditions d'autres nutriments tels que le phosphate, les émissions de méthane et le stockage du carbone sont également liés aux modifications du cycle de l'azote. Par exemple, une alimentation bovine à faible teneur en azote pourrait entraîner une diminution des émissions d'ammoniac, mais si l'on y parvient en augmentant la proportion de fourrage, cela pourrait augmenter les émissions de méthane. À l'inverse, d'autres pratiques peuvent avoir des retombées positives. Par exemple, en combinant la digestion anaérobie et l'épandage de fumier à faibles émissions, on peut réduire en même temps les émissions de méthane et d'ammoniac (voir également l'annexe II au présent document, dans le document informel n° 1 de la cinquante-neuvième session du Groupe de travail des stratégies et de l'examen)²⁰. Si l'on ne veut pas déplacer le problème mais réduire efficacement les émissions d'azote dans l'agriculture, il pourrait ne pas y avoir d'autre solution, dans certaines régions, que de réduire le nombre de têtes de bétail et de limiter leur charge à l'hectare.

B. Sources et mesures de réduction

19. Le fumier produit par les activités d'élevage est responsable de plus de 70 % des émissions d'ammoniac en Europe. L'utilisation d'engrais minéraux dans l'agriculture contribue pour près de 20 % aux émissions d'ammoniac. La circulation, l'industrie et les personnes sont responsables de la partie restante. En Europe, environ 50 % des émissions dues au bétail sont imputables aux bovins, contre 30 % pour les porcs et 20 % pour les volailles²¹. Dans certains pays, de nouvelles sources d'émission d'ammoniac, telles que l'épandage de boues d'épuration et de digestats de cultures énergétiques, prennent rapidement de l'ampleur.

20. Les bâtiments d'élevage (40 %), l'entreposage (20 %), l'épandage (35 %) et le pâturage (5 %) sont les principaux éléments de la chaîne du fumier à l'origine d'émissions d'ammoniac (voir la figure IX ci-dessous). Ces éléments sont interdépendants. Par exemple, une plus grande propreté des bâtiments d'élevage permet de conserver davantage d'azote dans le fumier. La couverture des dépôts de fumier a le même effet. Cela signifie qu'une quantité plus importante d'ammoniac pourrait être émise lors de l'épandage sur les sols. L'épandage de fumier à faibles émissions est donc la pierre angulaire d'une stratégie efficace de réduction de l'ammoniac et, comme le montrent des études menées notamment en Allemagne et en France, cette mesure présente le plus grand potentiel en matière de réduction des émissions. En Allemagne, l'épandage de fumier à faibles émissions pourrait en théorie représenter près de 60 % du total des réductions d'émissions²². En France, l'Agence de la transition écologique (ADEME) a estimé que l'incorporation et l'injection directes représentaient 60 % du potentiel total de réduction pour le pays (Mathias *et al.*, 2013)²³. La figure X ci-dessous donne un aperçu complet des potentiels de réduction dans les États membres de l'Union européenne.

¹⁹ Sutton *et al.* (2019), The Nitrogen Fix: From nitrogen cycle pollution to nitrogen circular economy, Frontiers 2018/2019: Emerging Issues of Environmental Concern, p. 52 à 65, Programme des Nations Unies pour l'environnement, Nairobi, ISBN : 978-92-807-3737-0.

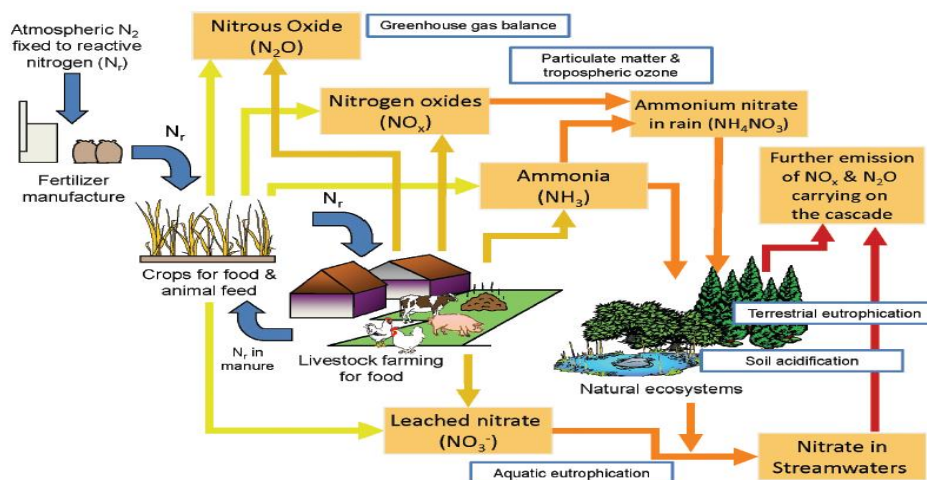
²⁰ Dalgaard *et al.* (2015), Methane and Ammonia Air Pollution, document d'orientation établi par l'Équipe spéciale de l'azote réactif de la CEE. <http://www.clrtap-tfrn.org/>.

²¹ IIASA (2017), Measures to address air pollution from agricultural sources, European commission contract SR11- ENV.C.3/FRA/2013/00131.

²² S. Wulf, C. Rösemann, B. Eurich-Menden et E. Grimm (2017), Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft Minderungsziele und -potenziale Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung, Thünen, Hanovre, 30 mai 2017.

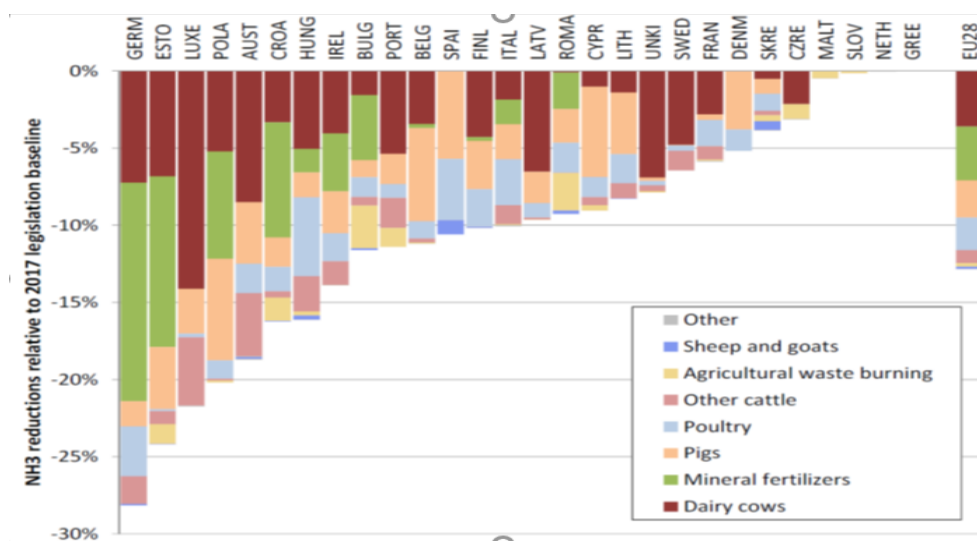
²³ E. Mathias et E. Martin (2013), Analyse du potentiel de 10 actions de réduction des émissions d'ammoniac des élevages Français aux horizons 2020 et 2030, ADEME, décembre 2013.

Figure IX
Principales sources d'émissions d'ammoniac



Source : IIASA, 2017²⁴.

Figure X
Réductions d'ammoniac jusqu'en 2030 en application de la Directive de l'Union européenne sur les plafonds d'émission nationaux



Source : IIASA, 2017.

21. L'Équipe spéciale de l'azote réactif a élaboré le Document d'orientation sur la gestion durable intégrée de l'azote (ECE/EB.AIR/2020/6-ECE/EB.AIR/WG.5/2020/5), dans lequel la réduction des émissions d'ammoniac est envisagée dans le contexte plus large d'une utilisation plus efficace de l'azote dans l'agriculture²⁵. L'Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique avait déjà adopté, en 2014, le Document d'orientation pour la prévention et la réduction des émissions d'ammoniac provenant des sources agricoles (ECE/EB.AIR/120)²⁶. Le reste de la présente section s'appuie sur ces documents.

²⁴ IIASA (2017), Progress towards the achievement of the EU's air quality and emissions objectives, International Institute for Applied Systems Analysis, 27 octobre 2017.

²⁵ Équipe spéciale de l'azote réactif (2020), Projet de document d'orientation sur la gestion durable intégrée de l'azote, ECE/EB.AIR/2020/6.

²⁶ CEE (2015), Code-cadre de bonnes pratiques agricoles pour réduire les émissions d'ammoniac, <https://www.unece.org/index.php?id=41358#:~:text=Theper cent20Ammoniaper cent20Frameworkper cent20Codeper cent20is,Ozoneper cent20andper cent20itsper>

22. L'épandage de fumier à faibles émissions, s'il est fait au bon moment, pourrait augmenter la disponibilité de l'azote en tant qu'engrais, tout en réduisant les besoins en engrais minéraux. Une moindre utilisation des engrais minéraux entraînerait une réduction supplémentaire de l'ammoniac, surtout si cela implique une moindre utilisation d'engrais à base d'urée. L'utilisation de fumier à faibles émissions à la place des engrais minéraux dans l'agriculture aurait également pour effet de réduire le coût global de la stratégie de réduction des émissions d'ammoniac.

23. La réduction de la quantité totale d'azote apporté à la terre empêcherait les transferts de pollution vers les eaux et les nappes phréatiques et réduirait les émissions d'oxyde nitreux.

24. La difficulté est de convaincre les agriculteurs que le fumier produit n'alimente pas un flux de déchets, mais qu'il est une source d'éléments nutritifs et un précieux sous-produit. La présence de résidus de médicaments dans le fumier pouvant faire obstacle à une « agriculture circulaire », il pourrait être nécessaire de réglementer davantage l'utilisation des antibiotiques et des hormones. Pour éviter la pollution des eaux souterraines par les nitrates et faire en sorte que le fumier soit utilisé de façon optimale, il convient de prendre en compte la valeur fertilisante du fumier dans la planification de la fertilisation des cultures. Cette exigence est depuis longtemps en vigueur dans les zones de l'Union européenne désignées comme vulnérables en vertu de la Directive sur les nitrates²⁷. Les exploitations ou les régions où la production de fumier dépasse la capacité d'utilisation de cet apport nutritif pour les cultures doivent exporter leurs excédents vers des exploitations ou des régions pouvant faire bon usage de ce surplus de production. Cependant, lorsque les exportations d'éléments nutritifs sont supérieures aux importations, les sols s'appauvrissent. À l'inverse, lorsque les quantités d'éléments nutritifs importées sont supérieures aux exportations, ces éléments s'accumulent dans l'environnement. Par exemple, aux Pays-Bas, en 2016, 52 % de l'azote importé sous forme de denrées alimentaires, d'aliments pour animaux et d'engrais minéraux a été exporté sous forme de produits agricoles (viande, produits laitiers et légumes)²⁸. Le reste, soit 48 %, a été disséminé dans l'air, l'eau et le sol. Ce pourcentage peut paraître faible, mais si l'on considère qu'en 1990, 30 % seulement de l'azote importé était réexporté, il révèle qu'une meilleure utilisation du fumier, du compost et des boues d'épuration a permis d'améliorer très sensiblement l'efficacité de l'utilisation de l'azote.

25. Grâce aux économies d'échelle réalisées, le coût de l'approche intégrée de l'azote est relativement faible pour les exploitations modernes comptant plus de 100 têtes de bétail. Selon l'IIASA, 80 % du fumier produit en Europe provient de 4 % des exploitations²⁹. La fixation de seuils en fonction de la taille des exploitations pourrait donc être un moyen d'agir efficacement sur la majeure partie des émissions d'ammoniac, à condition de viser en priorité les exploitations pour lesquelles les mesures seraient les plus rentables³⁰.

26. Il est néanmoins raisonnable d'envisager des mesures pour les petites exploitations. Selon le Document d'orientation sur la gestion durable intégrée de l'azote³¹, l'une des mesures les moins coûteuses consisterait à encourager le pâturage dans les prairies et les terres pastorales et de remplacer les aliments pour bétail importés par des produits locaux

cent202012per cent20amendment ; S. Bittman, M. Dedina, C. M. Howard, O. Oenema et M. A. Oenema (2014) (éd.), Options for ammonia mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen. Équipe spéciale de l'azote réactif-Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, http://www.clrtap-tfrn.org/sites/clrtap-tfrn.org/files/documents/AGD_final_file.pdf.

²⁷ Directive du Conseil du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles (91/676/CEE), *Journal officiel de l'Union européenne*, L 375 (1991), p. 1 à 8.

²⁸ Bureau central de la statistique des Pays-Bas, <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0094-stroomschemastikstof-en-fosfor>.

²⁹ M. Amann *et al*, 2017, Measures to address air pollution from agricultural sources, IIASA, <https://iiasa.ac.at/web/home/research/researchPrograms/air/policy/SR11-AGRICULTURE-FINAL.pdf>.

³⁰ Annexe 1 dans Équipe spéciale de l'azote réactif (2011) : <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2010/eb/wg5/wg46/ece.eb.air.wg.5.2010.4.e.pdf>.

³¹ Équipe spéciale de l'azote réactif (2020), Document d'orientation sur la gestion durable intégrée de l'azote, ECE/EB.AIR/2020/6.

pour améliorer l'équilibre entre les importations et les exportations d'azote. Il est beaucoup moins coûteux d'intégrer des dispositifs de réduction des émissions dans des constructions neuves que de moderniser les anciennes. L'épuration des effluents gazeux n'est applicable en pratique que pour les locaux à ventilation mécanique (abritant des animaux non ruminants comme les porcs et les volailles). L'acidification du lisier peut être utilisée aussi bien dans les bâtiments destinés aux ruminants (à ventilation libre) que dans ceux destinés aux non-ruminants. Cela permet également de réduire les émissions d'ammoniac provenant du stockage et de l'épandage du lisier sur les sols. Il est également prouvé que cela réduit les émissions de méthane et d'oxyde nitreux provenant du lisier stocké à l'intérieur et à l'extérieur des locaux.

27. L'IIASA estime qu'il est techniquement possible de réduire davantage les émissions d'ammoniac que ne le prévoit la Directive sur les plafonds d'émission nationaux (par exemple jusqu'à 50 % en Allemagne)³². La stratégie optimale, dans laquelle les coûts marginaux supplémentaires seraient égaux aux avantages marginaux permettrait des réductions d'ammoniac pouvant atteindre près de 40 % en Allemagne et 30 % en France (voir le tableau 2 ci-dessous).

28. Pour la plupart des pays, le coût moyen de la réduction des émissions d'ammoniac serait de 0,5 à 1,5 euros par kg d'ammoniac. De telles mesures impliquent une amélioration de la propreté des locaux abritant les porcs et les volailles, le stockage du fumier sous couvert et l'épandage de fumier à faibles émissions. Le coût de l'épandage du fumier à faibles émissions varie entre 0,2 et 4 euros par kg d'ammoniac, selon le type de fumier, la technique employée et les conditions locales³³.

29. La plupart des réductions supplémentaires, dans les pays qui appliquent déjà des techniques de réduction à faible coût, comme la Belgique, le Danemark et les Pays-Bas, coûteraient entre 2,5 et 4 euros par kg d'ammoniac³⁴. Il faudrait poursuivre l'adaptation des locaux et pratiquer l'injection profonde du fumier. L'utilisation d'épurateurs pour purifier l'air des écuries est actuellement la pratique la plus coûteuse, puisque son prix peut atteindre 15 euros par kg d'ammoniac³⁵. En continuant à investir dans ce type de mesures et en leur donnant une ampleur accrue, il sera possible de passer à une échelle supérieure, de faire des économies d'échelle plus importantes et de réduire les coûts, tout en valorisant l'azote à une plus grande échelle dans le cadre d'une approche intégrée³⁶. Il sera possible de mettre en œuvre des techniques de réduction coûteuses si les marges bénéficiaires restantes dans le secteur agricole (y compris les subventions) le permettent. Dans certaines régions il pourrait être plus rentable, pour réduire les émissions d'ammoniac, de réduire le chargement en bétail. Cela sera également inévitable dans les pays où l'on hésite, à nom du bien-être animal, à enfermer les bêtes dans des étables fermées.

Tableau 2

Prévisions d'émissions de NH₃ et réductions possibles

	<i>Émissions de NH₃ Pourcentages de réduction</i>				
	Niveau de 2005 en millions de kg	2020	PEN-2030	Coût optimal-2030	Techniquement possible-2030
Belgique	74	2	13	16	19

³² IIASA (2017), Progress towards the achievement of the EU's air quality and emissions objectives, International Institute for Applied Systems Analysis, 27 octobre 2017 ; IIASA (2014), The Final Policy Scenarios of the EU Clean Air Policy Package, TSAP Report 11, Version 1.1a, International Institute for Applied Systems Analysis, février 2014.

³³ S. Reis, C. Howard et M. A. Sutton (2015), Costs of ammonia abatement and the climate co-benefits, Springer Pays-Bas, Dordrecht.

³⁴ F. Wagner *et al.* (2011), Ammonia reductions and costs implied by three ambition levels, CIAM-report 5/2011.

³⁵ L'estimation du coût des épurateurs d'air est encore plus élevée dans : F.-X. Philippe, J.-F. Cabaraux et B. Nicks (2011), Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques, Agriculture, Ecosystems & Environment 141 (3-4) 245 à 260.

³⁶ Équipe spéciale de l'azote réactif (2020), Document d'orientation sur la gestion durable intégrée de l'azote, ECE/EB.AIR/2020/6.

<i>Émissions de NH₃ Pourcentages de réduction</i>					
	Niveau de 2005 en millions de kg	2020	PEN-2030	Coût optimal-2030	Techniquement possible-2030
Allemagne	593	5	29	39	50
Danemark	73	24	24	37	47
France	675	5	13	29	37
Italie	422	5	16	26	29
Pays-Bas	146	13	21	25	25
Royaume-Uni	308	8	16	21	22
Union européenne à 28	3982	6	19	27	35

Source : IIASA, 2014.

30. Si des mesures supplémentaires de réduction des émissions d'ammoniac sont prises, il faudra modifier les prévisions d'émissions pour 2030, mais aussi l'estimation de leurs incidences négatives sur la santé publique et les écosystèmes. Le tableau 3 ci-dessous montre la diminution moyenne de l'espérance de vie imputable à l'exposition à la concentration totale de PM_{2,5}. Dans les pays concernés, environ la moitié de la concentration de fond des PM_{2,5} est liée aux émissions d'ammoniac. Il convient de souligner la grande variabilité de la diminution de l'espérance de vie au sein de la population. Si la plupart des gens n'auront à souffrir que de problèmes de santé mineurs, les personnes sensibles risquent de voir leur espérance de vie diminuer de plusieurs années.

Tableau 3

Diminution de l'espérance de vie imputable à l'exposition aux PM_{2,5} pour différents scénarios d'émissions
(en mois)

	2005	PEN-2030	Coût optimal-2030	Techniquement possible-2030
Allemagne	7,9	4,8	4,0	3,6
Belgique	10,2	5,9	5,0	4,5
Danemark	6,4	3,5	3,0	2,7
France	8,8	4,4	3,8	3,2
Italie	10,2	6,1	4,8	4,3
Pays-Bas	8,8	5,0	4,3	4,0
Royaume-Uni	5,8	3,7	2,9	2,6
Union européenne à 28	8,5	5,0	4,1	3,6

Source : IIASA, 2014.

31. Le tableau 4 ci-dessous montre l'amélioration obtenue en matière de protection des écosystèmes en fonction de l'ambition des scénarios de réduction des dépôts d'azote. Dans certains pays, notamment au Danemark et aux Pays-Bas, l'amélioration attendue resterait faible, même si toutes les mesures techniquement disponibles étaient prises. Cela est dû au fort chargement en bétail autour des zones naturelles de ces pays, qui aggrave la diminution de la diversité biologique. Certaines espèces végétales risquent alors d'être envahies par les herbes, les broussailles et les orties, ce qui aura des conséquences sur la variété des espèces de papillons et d'oiseaux. Il faut accentuer les changements structurels pour enrayer la perte de biodiversité dans les zones à forte charge de bétail.

Tableau 4
Réduction dans les zones dont les écosystèmes souffrent de dépôts excessifs d'azote, entre 2005 et 2030

	<i>PEN-2030</i> (en pourcentage)	<i>Coût optimal-2030</i> (en pourcentage)	<i>Techniquement possible-2030</i> (en pourcentage)
Allemagne	25	46	55
Belgique	92	100	100
Danemark	2	3	7
France	25	43	55
Italie	44	60	66
Pays-Bas	5	13	16
Royaume-Uni	56	80	86
Union européenne à 28	24	35	42

Source : IIASA, 2014.

Note : Selon les données nationales communiquées, le pourcentage d'écosystèmes sensibles à l'azote est relativement plus faible en Belgique qu'aux Pays-Bas et au Danemark, par exemple. En outre, en Belgique, l'agriculture se concentre en Flandre, tandis que la plupart des écosystèmes naturels se trouvent en Wallonie.

32. Un exemple de changement structurel serait la mise en œuvre d'un ensemble coordonné d'actions visant à « boucler » le cycle de l'azote agricole, c'est-à-dire à éviter toute perte, pour qu'il devienne inutile de continuer à recourir à des apports d'engrais azotés ou à la fixation biologique de l'azote. Bien que l'on estime une telle ambition irréaliste, puisqu'il est impossible d'empêcher toutes les pertes par dénitrification dans un système sol-plante-animal, il est possible de réduire considérablement les déperditions d'azote sous toutes ses formes. La déclaration de Colombo sur la gestion durable de l'azote constitue une avancée importante. Ce texte a pour ambition une réduction de moitié des déchets azotés de toutes origines d'ici à 2030 dans le cadre de plans d'action nationaux³⁷.

33. À l'échelle nationale, pour réaliser une économie agricole circulaire dispersant le moins de nutriments possible dans l'environnement, on ne devra pas se contenter d'un simple changement des techniques de production agricole. Dans le cadre d'une démarche globale, il faudra également prévoir des changements « du côté de la demande ». Les effets de ces changements sont illustrés par la figure XI ci-dessous. Il s'agit de réduire le gaspillage des aliments, de diminuer la surconsommation de calories et de d'opter pour des régimes alimentaires plus durables, c'est-à-dire des régimes qui contribuent moins à la déperdition d'azote. La réduction de la consommation de viande est un élément clef d'une alimentation durable. En la réduisant de moitié, on diminuerait les émissions d'ammoniac de 43 %³⁸. Cela permettrait également de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre et d'utiliser moins de terres.

34. Un autre exemple de changement structurel consiste à produire de la viande artificielle ou à utiliser les insectes ou les légumineuses comme sources de protéines dans l'alimentation humaine. De surcroît, plusieurs études révèlent les avantages d'une baisse de la surconsommation et de la diminution de la consommation de viande rouge pour la santé³⁹.

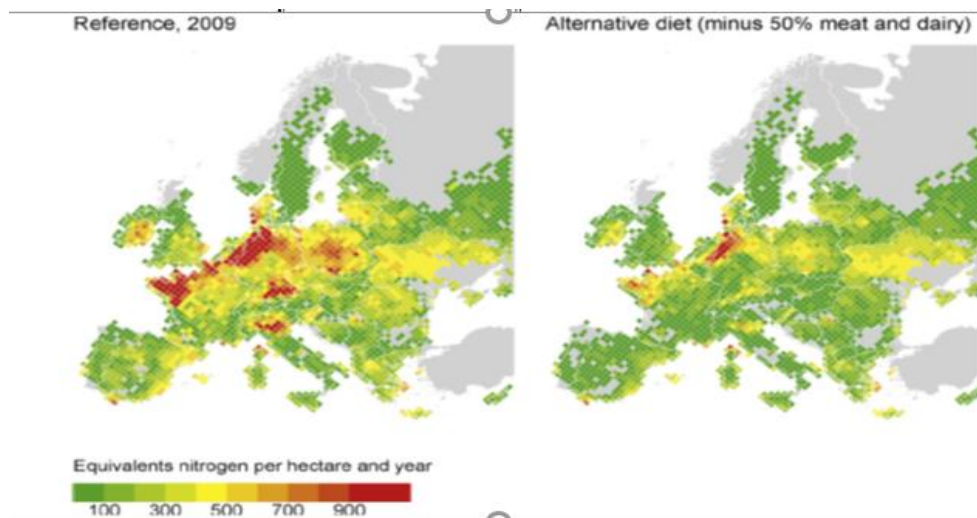
³⁷ PNUE (2019) : Déclaration de Colombo sur la gestion durable de l'azote, <https://papersmart.unon.org/resolution/sustainable-nitrogen-management>.

³⁸ H. Westhoek *et al.*, 2014, Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake, Global Environ. Change, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004> ; H. Westhoek *et al.*, (2015), Nitrogen on the Table: The influence of food choices on nitrogen emissions and the European environment (European Nitrogen Assessment Special Report on Nitrogen and Food) : http://www.clrtap-tfrm.org/sites/clrtap-tfrm.org/files/documents/EPNFpercent20Documents/Nitrogen_on_the_Table_Report_WEB.pdf.

³⁹ C. Van Dooren *et al.*, 2014, Exploring dietary guidelines based on ecological and nutritional values: A comparison of six dietary patterns, Food Policy 44 p. 36 à 46, <http://dx.doi.org/10.1016/>

Figure XI

Dépassement annuel de la charge critique à l'hectare de dépôts d'azote sur les écosystèmes naturels : comparaison entre le scénario de référence et celui d'un régime alimentaire 50 % moins riche en viande et en produits laitiers



Source : Westhoek *et al.*, 2015.

C. Le coût de l'inaction politique

35. Avec les pratiques agricoles actuelles, de précieux nutriments sont perdus. Si les agriculteurs adoptaient une approche intégrée de l'azote et tendaient vers un système agricole « circulaire », ils perdraient moins d'azote à l'échelle de l'exploitation et ils auraient besoin d'acheter moins d'engrais minéraux. Actuellement, 15 milliards d'euros sont dépensés chaque année dans l'Union européenne pour acheter des engrais. Selon l'évaluation de l'azote à l'échelle européenne (European Nitrogen Assessment), 50 % de de l'azote utilisable comme engrais est gaspillé. Selon le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), réduire de moitié l'utilisation des engrais permettrait d'économiser 100 milliards de dollars à l'échelle mondiale⁴⁰. En outre, pour l'ensemble de la société, une diminution des déperditions d'azote permettrait de réduire ses effets négatifs sur la santé publique et les services écosystémiques tout en diminuant la contribution de l'agriculture aux changements climatiques, dans la mesure où une grande quantité d'énergie est consommée dans la production d'engrais et où la production et l'utilisation sont également une source majeure d'émissions d'oxyde nitreux (N₂O), qui est un puissant gaz à effet de serre.

36. La valeur monétaire des dommages causés par les émissions d'ammoniac aux écosystèmes et à la santé humaine dans l'Union européenne a été évaluée par CE-Delft⁴¹. Ces coûts externes ne sont pas répercutés dans le prix des aliments. CE-Delft évalue le coût des dommages imputables aux émissions d'ammoniac à 17,50 euros par kg d'ammoniac (dans une fourchette de 10 à 25,20 euros). Sont pris en compte la contribution de l'ammoniac aux dommages environnementaux causés par l'acidification et l'eutrophisation, ainsi que la formation de particules et la perte d'années de vie qui en découle. Ces estimations reposent, entre autres, sur la méthode HRAPIE de l'OMS⁴² et sur l'évaluation des dommages causés

[j.foodpol.2013.11.002](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.002) ; E. Hallström *et al.*, 2015, Environmental impact of dietary change: a systematic review, *Journal of Cleaner Production* 91 (2015) p. 1 à 11, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.008>.

⁴⁰ UNEP Frontiers Report: The Nitrogen Fix, <https://apo.org.au/sites/default/files/resource-files/2019-03/apo-nid224376.pdf>.

⁴¹ de Bruyn *et al.* (2018), *Environmental Prices Handbook EU28 version – Methods and numbers for valuation of environmental impacts*, CE-Delft.

⁴² OMS (2013), *Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*.

aux écosystèmes⁴³. On trouvera une description détaillée de la méthode suivie dans de Bruyn *et al.* (2018)⁴⁴. Les particules secondaires jouent un rôle prépondérant dans les dommages estimés. On inclut dans les dommages causés à la nature le coût de certaines interventions telles que l'élimination des nutriments en excédent dans les zones naturelles ou le chaulage supplémentaire auquel il faut recourir contre l'acidification. Le coût des dommages varie d'un pays à l'autre. Il dépend, entre autres, de la densité de la population : en Belgique, en Allemagne et aux Pays-Bas, il est estimé à environ 30 euros par kg d'ammoniac, tandis qu'en Finlande, en Irlande et en Espagne, il est inférieur à 10 euros par kg⁴⁵.

37. Les chiffres sont souvent inférieurs dans des études consacrées à certains pays, dans lesquelles il n'est pas tenu compte des incidences sur d'autres pays⁴⁶.

38. Selon les estimations de CE-Delft, les dommages dus aux émissions d'ammoniac agricoles restantes s'élèveraient en 2030 à près de 60 milliards d'euros par an (entre 35 et 85 milliards d'euros)⁴⁷. Cela représente 15 % de la production agricole totale et plus de 50 % du revenu annuel (valeur ajoutée nette) des activités agricoles dans l'Union européenne⁴⁸. Il convient également de noter qu'en Europe le secteur agricole bénéficie de subventions nettes représentant environ 35 % de la valeur ajoutée nette, entre autres pour maintenir les prix des denrées alimentaires à un niveau bas.

39. Le coût social (brut) de l'absence de mesures supplémentaires représente 60 milliards d'euros. Avec une réduction des émissions de 30 à 50 %, ces dommages pourraient être évités. Dans l'agriculture, on estime qu'une telle réduction coûterait entre 0,7 et 5,7 milliards d'euros par an, selon les objectifs fixés (IIASA, TSAP-report #11, 2014). Pour réduire les émissions de 30 à 50 %, il sera nécessaire de prendre dans certaines régions des mesures non techniques supplémentaires.

40. Le coût estimé des dommages, soit 17,50 euros par kg d'ammoniac, est plus élevée que le coût estimatif des réductions d'émissions. Selon une étude allemande (Wulf *et al.*, 2017), la réduction des émissions d'ammoniac coûterait entre 0 et 4 euros par kg. L'estimation haute de la mesure de réduction la plus coûteuse (installation d'épurateurs d'air dans les écuries) coûterait, selon cette étude, jusqu'à 15 euros par kg.

41. Si l'on prenait en compte le coût des dommages environnementaux dans les prix des denrées alimentaires, la viande et les produits laitiers coûteraient plus cher. CE-Delft estime que si l'on répercutait le coût des dommages environnementaux dus à la déperdition de

⁴³ M. Holland et R. Maas (2014), Quantification of economic damage to biodiversity, ECLAIRE Project, Deliverable 18.3.

⁴⁴ Voir également : CE-Delft (2019), Handbook on the external costs of transport – version 2019.

⁴⁵ En ce qui concerne l'Allemagne, l'estimation de 32 euros par kg est proposée dans A. Matthey et B. Bünger (2018), Methodological Convention 3.0 for the Assessment of Environmental Costs, Umwelt Bundes Amt.

⁴⁶ Pour le Danemark, l'estimation était de 20 euros par kg dans : Mikael Skou Andersen, Lise Marie Frohn Rasmussen et Jørgen Brandt (2019), Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner 3.0, Aarhus Universitet ; en ce qui concerne le Royaume-Uni, on disposait d'une estimation moyenne de 6,80 euros par kg avec d'importantes variations (entre 1,25 et 21 euros) dans : Ricardo (2019), Air Quality damage cost update 2019, Report for Defra AQ0650 ; pour la Finlande, l'estimation était de 1,20 euro (fourchette de 0,70 à 2,80 euros) dans : Kukkonen *et al.* (2019), Modelling of the public health costs of fine particulate matter and results for Finland in 2015, ACP, <https://doi.org/10.5194/acp-2019-702> ; pour l'Irlande, l'estimation était de 0,82 euro dans : EnvEcon (2015), Marginal Damage Cost Estimates for Air Pollutants in Ireland.

⁴⁷ Cette estimation est inférieure aux 70 à 320 milliards d'euros annoncés dans l'évaluation de l'azote à l'échelle européenne, mais ces chiffres tiennent également compte des effets du nitrate et des incidences sur le climat du protoxyde d'azote (ENA, Technical Summary, p. xiviii). On se reportera également à : B. Brunekreef, R. M. Harrison, N. Künzli, X. Querol, M. A. Sutton, D. J. J. Heederik et T. Sigsgaard (2015), Reducing the health effect of particles from agriculture, *Lancet Respiratory Medicine* (8 octobre 2015), [http://dx.doi.org/10.1016/S2213-2600\(15\)00413-0](http://dx.doi.org/10.1016/S2213-2600(15)00413-0).

⁴⁸ Au cours de la dernière décennie, la valeur de la production agricole totale de l'Union européenne s'établissait à environ 400 milliards d'euros (dont environ 40 % pour les produits d'origine animale). Le coût des intrants étant de 230 milliards d'euros et celui des amortissements de 55 milliards d'euros, la valeur ajoutée annuelle nette (revenu) est de 115 milliards d'euros, hors taxes et subventions. Les subventions nettes s'élèvent à environ 40 milliards d'euros (35 % de la valeur ajoutée nette).

l'azote, le prix réel de la viande de bœuf et de porc augmenterait de 25 à 35 %⁴⁹. La hausse des prix de la viande et des produits laitiers ayant pour conséquence une augmentation du coût des repas, il faudrait prendre des mesures pour que les populations à faibles revenus soient correctement nourries. Toutefois, l'augmentation du coût des repas pourrait rester limitée si la hausse des prix de la viande et des produits laitiers était compensée par des campagnes visant à modifier les habitudes alimentaires.

III. L'ammoniac au Canada et aux États-Unis d'Amérique

42. Les émissions de la plupart des polluants atmosphérique diminuent au Canada et aux États-Unis d'Amérique, ce qui a permis d'améliorer la qualité de l'air dans de nombreuses régions. Cependant, près d'un quart des Canadiens vivent encore dans des zones où au moins une norme de qualité de l'air ambiant n'est pas respectée et 10 % de la population des États-Unis d'Amérique vit dans des zones où ces normes ne sont pas respectées pour les particules fines (PM_{2,5})⁵⁰. Les émissions d'ammoniac sont préoccupantes au Canada et aux États-Unis d'Amérique, dans la mesure où l'ammoniac présent dans l'atmosphère est un précurseur clef dans la formation de particules fines (PM_{2,5}) et contribue aux dépôts acides et à l'eutrophisation. Les particules atmosphériques ont de nombreux effets sur la santé. Elles jouent notamment un rôle dans les maladies cardiaques et pulmonaires, les accidents vasculaires cérébraux, l'asthme et le diabète, ainsi que dans certaines maladies neurodégénératives telles que la démence. Si l'ammoniac atmosphérique joue un rôle important dans le cycle de l'azote et pour la santé des écosystèmes, un dépassement des charges critiques d'azote peut toutefois avoir des effets néfastes sur l'environnement. Ces effets ont des répercussions importantes car ils affectent la biodiversité terrestre et aquatique et la durabilité. Les particules atmosphériques contribuent également à réduire la visibilité. Le Canada et les États-Unis d'Amérique coopèrent depuis longtemps dans le domaine de la surveillance et d'évaluation des retombées acides, notamment dans le cadre de l'Accord entre le Canada et les États-Unis sur la qualité de l'air de 1991⁵¹.

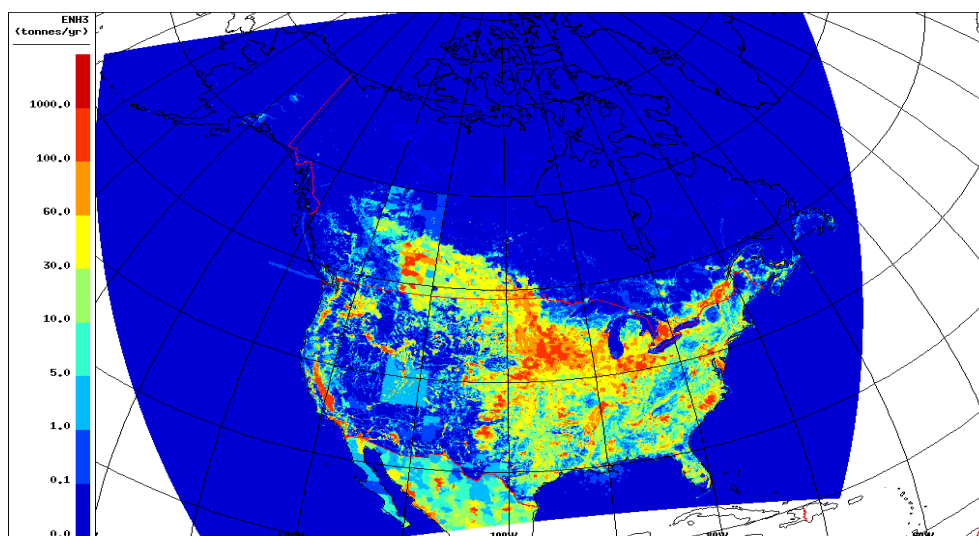
43. Des progrès considérables ont été réalisés au cours des deux dernières décennies en ce qui concerne la réduction d'autres précurseurs de PM_{2,5} tels que les NO_x et le SO₂, mais les émissions d'ammoniac, et par conséquent leurs concentrations atmosphériques, ont continué à augmenter au Canada et aux États-Unis d'Amérique. Dans les deux pays, la principale source d'ammoniac est le secteur agricole, qui représentant 93 % des émissions nationales (Inventaire canadien des émissions de polluants atmosphériques, 2020 ; Inventaire national des émissions de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis, 2020). Le sud de l'Ontario et du Québec, le sud de la Colombie-Britannique, l'Alberta, la Saskatchewan, ainsi que le Midwest des États-Unis d'Amérique, la Californie et la Caroline du Nord, sont des zones à forte activité agricole. Aux abords de la frontière entre le Canada et les États-Unis, les émissions d'ammoniac ont également des effets transfrontières sur la qualité de l'air (voir la figure XII ci-dessous), mais pour quantifier ces effets, il serait nécessaire de disposer d'évaluations plus détaillées.

⁴⁹ CE-Delft, The true price of meat, 2018.

⁵⁰ <https://www3.epa.gov/airquality/greenbook/popexp.html>.

⁵¹ <http://pubs.awma.org/flip/EM-June-2019/schwede.pdf>.

Figure XII

Émissions annuelles d'ammoniac en Amérique du Nord (en tonnes par tuile de la grille)

Source : Inventaire canadien de 2013 et prévisions étasuniennes de 2017, grille GEM-MACH à tuiles de 10 km x 10 km.

A. Tendances en matière d'émissions d'ammoniac

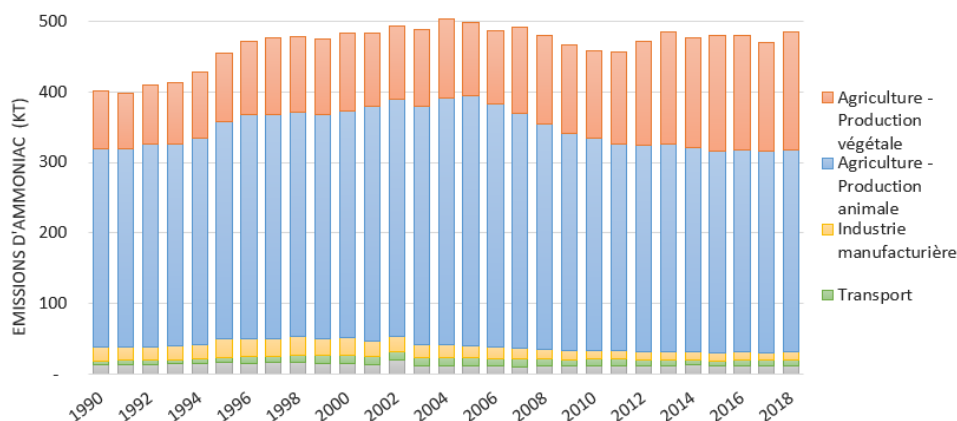
44. Au Canada, les émissions d'ammoniac ont augmenté de 21 % au cours de la période 1990-2018, principalement en raison de l'utilisation accrue d'engrais à base d'azote dans l'agriculture. Dans ce pays, en 2018, les émissions d'ammoniac étaient principalement imputables à la production de produits animaux (59 % des émissions) et végétaux (35 %), et l'ensemble des autres sources d'émissions d'ammoniac ne représentaient que 7 % du total. Ces autres sources étaient l'industrie manufacturière, l'incinération et les déchets, ainsi que les transports et les matériels d'équipement mobiles.

45. On observe deux tendances distinctes en ce qui concerne les émissions d'ammoniac du Canada (voir la figure XIII ci-dessous). La première est une augmentation constante des émissions imputables à la production végétale, qui ont plus que doublé entre 1990 et 2018 et augmentent à un rythme plus soutenu depuis 2005, en raison de l'intensification de l'épandage d'engrais à base d'azote pour la production de cultures annuelles.

46. La deuxième tendance est l'évolution des émissions de produits d'origine animale, qui, après avoir augmenté de manière constante à partir des années 1990 et atteint un pic en 2006 se sont mises à diminuer. Ainsi, les émissions imputables à la production animale au Canada ne représentaient plus que 59 % du total des émissions d'ammoniac en 2018, contre 71 % en 2005. La baisse de la demande de viande bovine et les répercussions à long terme de l'épidémie d'encéphalopathie spongiforme de 2003 ont fait diminuer la production annuelle de bovins et donc baisser les émissions.

47. Ces deux tendances opposées qui ont marqué la dernière décennie ont été à l'origine de faibles fluctuations du volume global des émissions d'ammoniac au Canada. Ces émissions, qui étaient en augmentation de 21 % depuis 1990, ont largement plafonné depuis 2005. L'augmentation des émissions est principalement due à la hausse de la production agricole dans les provinces de l'ouest du pays. Selon les prévisions actuelles, les émissions canadiennes d'ammoniac devraient globalement augmenter au cours de la prochaine décennie en raison de l'augmentation continue de l'épandage d'engrais à base d'azote pour les cultures.

Figure XIII
Estimation des émissions annuelles d'ammoniac au Canada (total national)



48. Aux États-Unis d'Amérique, en 2017, environ 59 % des émissions d'ammoniac étaient attribuées au bétail. Venaient ensuite l'épandage d'engrais (21 %) et les feux liés à l'agriculture et le brûlage dirigé (5 %). Un ensemble d'autres sources d'émissions telles que la consommation de combustibles, les processus industriels et le traitement des déchets représentait les 15 % restants du total⁵².

B. Concentrations dans l'air ambiant et dépôts

49. Alors que l'ammoniac se dépose rapidement et peut être réémis dans l'atmosphère, ce qui a généralement des effets négatifs au plan local, les aérosols d'ammonium voyagent sur de longues distances avant de se déposer. Globalement, l'Amérique du Nord est une zone à fortes émissions d'ammoniac dans l'atmosphère⁵³. Si l'on note une diminution des émissions d'ammoniac dans certaines provinces du Canada et dans certains États des États-Unis d'Amérique, des observations par satellite et des mesures effectuées au niveau du sol ont révélé que les émissions avaient tendance à augmenter à l'échelle nationale, tout comme les concentrations d'ammoniac^{54, 55}.

50. Le National Atmospheric Deposition Programme (NADP) (et son National Trends Network (NTN)), l'Atmospheric Integrated Research Monitoring Network (AIRMoN), le Clean Air Status and Trends Network (CASTNET) et le Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air (RCEPA) sont les principaux réseaux permettant d'évaluer les dépôts d'azote au Canada et aux États-Unis d'Amérique. Parmi les autres réseaux de surveillance de l'air qui mesurent l'azote atmosphérique, on peut citer l'Ammonia Monitoring Network (AMoN) du NADP, le programme Interagency Monitoring of Protected Visual Environments (IMPROVE), le Programme de surveillance nationale de la pollution atmosphérique (SNPA) du Canada et plusieurs autres réseaux qui alimentent collectivement en données le système de qualité de l'air de chacun de ces pays. Il est nécessaire de mesurer à la fois la forme gazeuse (NH_3) et la forme particulaire (NH_4^+) de l'azote réduit pour

⁵² EPA (2017), National Emission Inventory ; Données disponibles à l'adresse ftp://newftp.epa.gov/air/nei/2017/tier_summaries/.

⁵³ Xiaohong Yao et Leiming Zhang (2019), Causes of Large Increases in Atmospheric Ammonia in the Last Decade across North America, *ACS Omega*, 24 décembre 2019, 4(26): 22133 à 22142, <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsomega.9b03284>.

⁵⁴ J. X. Warner, R. R. Dickerson, Z. Wei, L. L. Strow, Y. Wang et Q. Liang (2017), Increased atmospheric ammonia over the world's major agricultural areas detected from space, *Geophys. Res. Lett.*, mars 2017, (44) 2875 à 2884, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/2016GL072305>.

⁵⁵ F. Yu, A. A. Nair et G. Luo (2018), Long-term trend of gaseous ammonia over the United States: Modeling and comparison with observations, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, août 2018, (123) 8315 à 8325, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2018JD028412>.

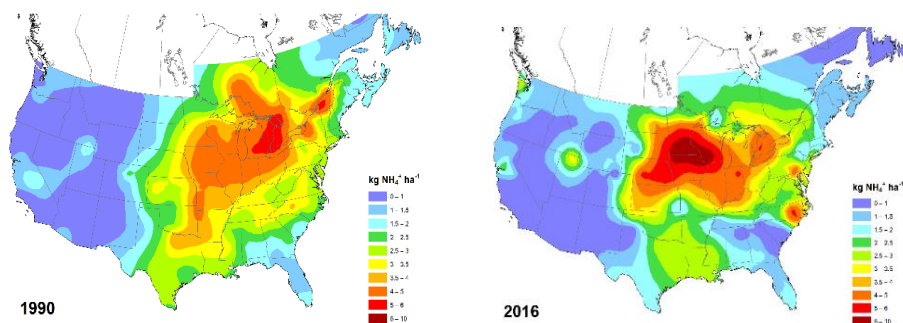
diminuer l'incertitude globale concernant la formation chimique des PM_{2,5} et le transport et le dépôt des composés d'azote réduit.

51. On a constaté une tendance à la hausse des concentrations annuelles d'ammoniac dans l'air ambiant sur des sites de l'AMoN du NADP au Canada et aux États-Unis d'Amérique. Le pourcentage d'augmentation dépasse 40 % au cours des huit à treize dernières années⁵⁶. Créé en 2007, le l'AMoN du NADP est la seule source de données cohérentes et à long terme sur les concentrations ambiantes d'ammoniac d'un bout à l'autre des États-Unis d'Amérique et sur certains sites canadiens. Ces mesures effectuées au sol ont été utilisées pour valider les observations satellitaires montrant des tendances similaires avec une meilleure couverture spatiale. On a observé des augmentations du NH₃ ambiant plus importantes que ce que pourraient justifier les seules modifications des émissions. Ces augmentations peuvent s'expliquer par une combinaison des facteurs suivants : l'augmentation des émissions dans certaines régions ; les niveaux ambiants plus bas de sulfates et de nitrates transformant l'ammoniac en ammonium ; les changements de conditions météorologiques.

52. C'est dans le centre et l'est du Canada et dans le centre des États-Unis d'Amérique que les dépôts d'azote réactif sont les plus élevés. Les principales sources de dépôt d'azote sont les oxydes d'azote présents au sein et autour des zones urbaines et l'azote réduit des régions agricoles. Au Canada, les concentrations de particules de nitrates d'ammonium et de sulfates d'ammonium diminuent en raison de la réduction des émissions de précurseurs (oxydes de soufre et d'azote). Cependant, alors que les dépôts humides de sulfates et de nitrates ont également diminué, les dépôts humides d'ammonium n'ont pas beaucoup changé depuis 1990 (voir figure XIV ci-dessous). Il serait nécessaire de mener des travaux supplémentaires pour savoir comment les particules d'ammonium interagissent avec d'autres polluants. Aux États-Unis d'Amérique, les dépôts humides d'azote oxydé ont diminué dans presque tous les États, mais de 1990 à 2010 les dépôts humides d'ammonium ont augmenté dans 37 des 45 États où une surveillance est exercée⁵⁷.

Figure XIV

Dépôts humides annuels d'ammonium observés en 1990 (à gauche) et en 2016, mettant en évidence les zones où il pourrait être nécessaire d'évaluer plus avant les émissions d'ammoniac transfrontières entre le Canada et les États-Unis d'Amérique



Source : Surface interpolée d'après les données provenant du National Trends Network du National Atmospheric Deposition Programme des États-Unis et du Réseau canadien d'échantillonnage des précipitations et de l'air.

- ⁵⁶ T. J. Butler, F. Vermeylen, C. M. Lehmann, G. E. Likens et M. Puchalski (2016), Increasing ammonia concentration trends in large regions of the USA derived from the NADP/AMoN network, *Atmospheric Environment*, décembre 2016, 146 132 à 140, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.033>.
- ⁵⁷ Y. Li, B. A. Schichtel, J. T. Walker, D. B. Schwede, X. Chen, C. M. B. Lehmann, M. A. Puchalski, D. A. Gay et J. L. Collett (2016), Increasing importance of deposition of reduced nitrogen in the United States, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, mai 2016, 113 (21) 5874 à 5879, <https://doi.org/10.1073/pnas.1525736113>.

C. Mesures de réduction des émissions

53. L'ammoniac continue d'être une source majeure de PM_{2,5} secondaires, en particulier dans l'est du Canada et dans le centre des États-Unis d'Amérique, puisque la réaction du NH₃ avec les oxydes de soufre et d'azote (SO_x et NO_x) produit du sulfate d'ammonium et du nitrate d'ammonium. Par conséquent, en cas de pic de pollution l'ammonium peut dans certaines régions représenter jusqu'à 25 % de la masse des PM_{2,5}. Étant donné les augmentations d'émissions d'ammoniac observées et signalées au Canada et aux États-Unis d'Amérique, certains des avantages attendus des importantes réductions de ces puissants précurseurs acides sont annulés. Cela est dû en grande partie au fait que l'ammoniac présent dans l'atmosphère est très réactif et ne reste pas longtemps sous forme gazeuse avant de réagir avec des gaz acides ou de se déposer sous forme sèche ou humide. Cependant, des mesures et modélisations récentes montrent que la sensibilité des PM_{2,5} à l'ammoniac varie sensiblement d'une région à l'autre, en fonction des précurseurs présents (Franchin *et al.*, 2018)⁵⁸.

54. Au Canada, l'ammoniac gazeux figure dans la liste des substances toxiques de l'annexe 1 de la loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999), car il est classé parmi les principaux précurseurs des particules fines et contribue donc à la mauvaise qualité de l'air, ce qui a des effets néfastes sur la santé. Le Canada dispose d'un certain nombre de directives nationales sur les pratiques agricoles, mais celles-ci sont axées sur le respect de normes environnementales portant par exemple sur la concentration de nitrates dans l'eau potable, plutôt que sur la réduction des émissions. Conscient des avantages environnementaux, mais aussi pratiques et économiques, d'une utilisation plus rationnelle de l'azote, le secteur agricole a pris les devants et s'est au fil des ans efforcé de faire des progrès dans ce domaine (y compris en recourant à des pratiques considérées par la Commission économique pour l'Europe (CEE) comme des méthodes d'atténuation)⁵⁹, les motivations pratiques ou économiques étant à cet égard déterminantes.

55. En octobre 2018, Environnement et changement climatique Canada a organisé un atelier sur l'ammoniac réunissant des scientifiques et des décideurs du Canada, des États-Unis d'Amérique et de l'Europe, pour discuter de l'importance de l'ammoniac ainsi que de l'action politique, des connaissances scientifiques et des mesures d'atténuation relatives à l'ammoniac atmosphérique. L'atelier a permis de formuler un certain nombre de messages clés concernant les effets de l'ammoniac sur la santé et l'environnement, ainsi que sur les outils et les approches disponibles pour les atténuer. Des discussions sont en cours, au Canada, pour évaluer les outils et les décisions politiques susceptibles de faire diminuer les émissions d'ammoniac dans l'atmosphère et de mieux sensibiliser le public à ce problème.

IV. L'ammoniac en Europe orientale, dans le Caucase et en Asie centrale

A. Émissions et dépôts

56. On observe de grandes disparités en ce qui concerne les dépôts d'azote en Europe orientale, dans le Caucase et en Asie centrale (voir la figure XV ci-dessous). Les dépôts y sont plutôt faibles par rapport à l'Europe centrale et occidentale, mais les émissions d'ammoniac ont tendance à augmenter⁶⁰. Dans les régions où les exploitations agricoles sont nombreuses et de petite taille, les déperditions d'azote résultent souvent d'une utilisation inefficace des nutriments. Dans les zones fortement chargées en bétail, les émissions cumulées des petites exploitations peuvent causer des problèmes d'eutrophisation.

⁵⁸ A. Franchin *et al.* (2018), Airborne and ground-based observations of ammonium-nitrate dominated aerosols in a shallow boundary layer during intense winter pollution episodes in northern Utah, *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 17259 à 17276, 2018, <https://doi.org/10.5194/acp-18-17259-2018>.

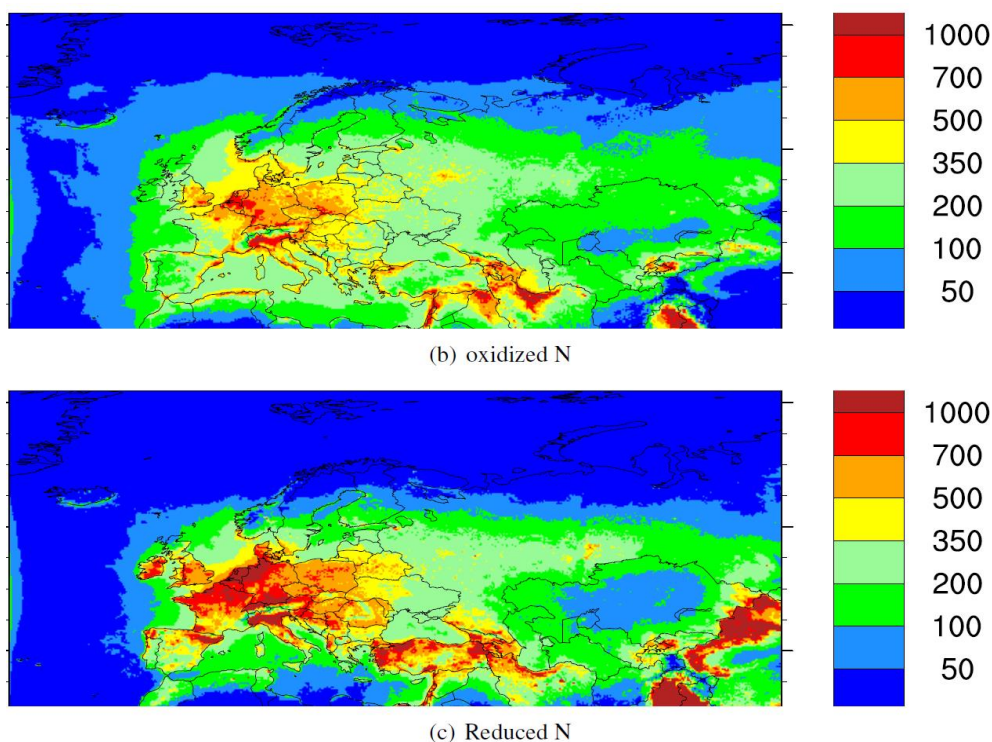
⁵⁹ S. Bittman, S. C. Sheppard et D. Hunt (2017), Potential for mitigating atmospheric ammonia in Canada, *Soil Use and Management*, juin 2017, 33, 263 à 275.

⁶⁰ CIPE, <https://www.ceip.at/webdab-emission-database>.

57. Dans de vastes étendues de la Fédération de Russie, de l'Ukraine et du Bélarus, les charges critiques pour l'azote sont dépassées. Dans la Fédération de Russie (partie européenne uniquement), 40 à 50 % des écosystèmes sont menacés. Au Belarus et en Ukraine, ce taux atteint presque 100 %⁶¹. Les données disponibles sur la qualité de l'air révèlent que l'exposition aux particules est très élevée. Il serait nécessaire d'effectuer davantage de mesures et de travaux de modélisation pour évaluer la contribution des particules secondaires (formées par l'ammoniac) à l'exposition dans les zones densément peuplées.

Figure XV

Dépôts d'azote oxydé et réduit en 2018 sur l'ensemble de la région de l'EMEP (en kg d'azote par km²)



Source : Centre de synthèse météorologique-Ouest de l'EMEP.

B. Mesures de réduction des émissions

58. Les politiques des pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie centrale en matière d'ammoniac sont décrites dans van der Hoek et Kozlova⁶². Les émissions ont fortement diminué au début des années 1990 en raison de la diminution du nombre d'animaux consécutif à la transition politique et économique, mais elles augmentent lentement depuis 1995. Dans la Fédération de Russie (partie européenne uniquement), l'azote disponible dans le fumier (un engrais biologique) a diminué de plus de 85 % et les émissions d'ammoniac provenant de l'élevage de 60 %⁶³. On a observé la même évolution au Kazakhstan : depuis la

⁶¹ J.-P. Hettelingh, M. Posch et J. Slootweg (éd.) (2017), European critical loads: database, biodiversity and ecosystems at risk, CCE Final Report 2017, Coordination Centre for Effects, RIVM Report 2017-0155, Bilthoven, Pays-Bas.

⁶² K. W. van der Hoek et N. P. Kozlova (éd.) (2014), Ammonia workshop 2012 Saint Petersburg, Abating ammonia emissions in the UNECE and EEMEA region, Семинар по аммиаку 2012, Санкт Петербург, Снижение выбросов аммиака в регионах ЕЭК ООН и ВЕКЦА, RIVM Report 680181001/SZNIIMESH Report, Bilthoven, Pays-Bas, ISBN : 978-90-6960-271-4.

⁶³ I. A. Morozova, N. M. Golovina et Y. S. Ignatyeva (2014), National registration of nitrogen emissions in the Russian Federation, in K. W. van der Hoek et N. P. Kozlova (éd.).

baisse brutale du nombre de bovins entre 1993 et 1998, le nombre de têtes de bétail remonte lentement année après année⁶⁴.

59. La réduction des émissions d'ammoniac n'a pas entraîné de diminution des concentrations d'ammoniac. La modélisation révèle que cela était dû à la baisse simultanée des émissions de SO₂ et de NO_x : une quantité moindre d'ammoniac a servi à créer du nitrate d'ammonium et du sulfate d'ammonium⁶⁵.

60. En Europe orientale, en Asie centrale et dans le Caucase le chargement en bétail est plus faible qu'en Europe occidentale. Le chargement en bétail est relativement élevé au Belarus et dans le Caucase par rapport à celui de la Fédération de Russie (partie européenne uniquement) et de l'Asie centrale. On constate une augmentation progressive du nombre d'animaux pendant les dernières décennies. Actuellement, le principal moteur de la politique en matière d'ammoniac est la nécessité d'une utilisation plus efficace de l'azote. Dans la Fédération de Russie (partie européenne uniquement), environ 80 % de l'apport actuel d'azote aux terres agricoles provient des engrais minéraux⁶⁶.

61. Les estimations concernant le Belarus montrent que moyennant des mesures techniquement applicables (telles que la couverture des dépôts de fumier et l'incorporation immédiate du fumier à la terre), les émissions d'ammoniac provenant de l'élevage pourraient être réduites d'environ 20 %. Pourtant, le coût de ces mesures semble encore trop élevé pour les agriculteurs, et leur mise en œuvre est stimulée dans le cadre de projets pilotes⁶⁷.

V. Conclusions et recommandations

62. Les émissions, les concentrations et les dépôts d'ammoniac ont modérément diminué au cours des quinze dernières années en comparaison des émissions, des concentrations et des dépôts de dioxyde de soufre et des oxydes d'azote. En Amérique du Nord et dans les pays d'Europe orientale, du Caucase et d'Asie centrale, les émissions d'ammoniac ont tendance à augmenter. On estime que le coût des dommages causés par les émissions d'ammoniac à la santé publique et aux écosystèmes oscille entre 10 et 25 euros par kg d'ammoniac. Il est encore possible de réduire substantiellement les émissions d'ammoniac, au-delà même des obligations actuelles au titre du Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique et de la Directive sur les plafonds d'émission nationaux de l'Union européenne telle que révisée. La réduction d'un kilo d'ammoniac coûte nettement moins cher que les dommages dont ce kilo est responsable : dans la plupart des pays, elle revient à 0 à 4 euros par kg d'ammoniac, mais ce chiffre peut atteindre 15 euros dans certaines zones à fort chargement en bétail.

63. Les mesures économiques visant à réduire davantage les émissions d'ammoniac diffèrent d'une région de la zone Europe et Amérique du Nord à l'autre. La couverture du fumier entreposé et son épandage de façon optimale en tant qu'engrais sont des mesures simples et peu coûteuses. La stratégie consistant à limiter l'utilisation d'engrais à base d'urée ou à remplacer les engrais minéraux par du fumier est relativement peu coûteuse dans les régions où le bétail est suffisamment nombreux. Elle rendrait toutefois nécessaire la tenue de statistiques sur les transports de fumier afin d'éviter tout conflit avec la lixiviation des nitrates.

⁶⁴ L. B. Eserkepova, L. V. Lebed et Z. R. Tokpajev (2014), Reactive nitrogen emissions in the Republic of Kazakhstan, in K. W. van der Hoek et N. P. Kozlova (éd.).

⁶⁵ Horváth *et al.* (2009), Long-Term Record (1981-2005) of ammonia and ammonium concentrations at K-Pusztá Hungary and the effect of sulphur dioxide emission change on measured and modelled concentrations, chap. 12, in *Atmospheric Ammonia: Detecting emission changes and environmental impacts* (éd. M. A. Sutton, S. Reis et S. M. H. Baker), p. 181 à 186, Springer.

⁶⁶ S. M. Lukin, K. S. Nikolskiy, V. V. Ryabkov et I. V. Rusakova (2014), Methods to reduce ammonia nitrogen losses during production and application of organic fertilizers, in K. W. van der Hoek et N. P. Kozlova (éd.).

⁶⁷ S. V. Kakareka et A. V. Malchikhina (2014), Scenarios for reduction of ammonia emissions in Belarus, in K. W. van der Hoek et N. P. Kozlova (éd.).

64. L'épandage de fumier à faible taux d'émission (injection dans les prairies et incorporation directe dans les terres arables) est la mesure la plus efficace, mais elle nécessite des investissements dans des machines qui seront rentabilisés si la mesure est combinée à une utilisation moindre des engrais minéraux⁶⁸. L'épandage de fumier à faible taux d'émission est actuellement la solution la plus efficace pour réduire les émissions d'ammoniac, comme dans les cas de l'Allemagne et de la France.

65. Les régions à fort chargement en bétail (Belgique, Danemark et Pays-Bas) ont déjà pris ces mesures peu coûteuses pour protéger les écosystèmes. Dans de telles régions, l'utilisation accrue des épurateurs d'air dans les écuries serait – malgré son coût élevé – une solution technique à envisager pour mieux protéger la santé des populations et les zones naturelles. La poursuite des investissements, l'innovation et le recours à ces approches à une plus grande échelle devraient permettre de réduire encore les prix, tout en contribuant au développement de l'économie circulaire de l'azote.

66. Pour réduire davantage les émissions d'ammoniac, il est nécessaire d'opérer des changements structurels, notamment en utilisant plus efficacement l'azote. Pour cela, il faut remplacer les engrais minéraux par du fumier (un engrais « bio ») et produire d'autres sources de protéines que la viande. Il est également nécessaire de modifier la structure de la demande, par exemple en réduisant le gaspillage alimentaire, en consommant raisonnablement et en changeant de régime alimentaire.

67. Les liens avec la protection des eaux (lutte contre la lixiviation des nitrates, par exemple) et les politiques climatiques doivent faire l'objet d'une attention particulière si l'on veut éviter les effets secondaires négatifs des mesures de réduction des émissions d'ammoniac et profiter des synergies possibles. Ainsi, en ce qui concerne le bétail, la modification de l'alimentation pourrait être envisagée pour réduire les émissions d'ammoniac, mais une telle stratégie devrait être combinée avec un objectif de réduction des émissions de méthane. Une moindre utilisation des engrais minéraux (par exemple en utilisant l'azote plus efficacement grâce à une agriculture de précision) serait bénéfique tant pour la qualité de l'air que pour le climat. En effet, de grandes quantités de gaz naturel sont nécessaires pour les produire, et leur utilisation contribue comme leur production aux émissions d'oxyde nitreux.

68. Une utilisation accrue des cultures énergétiques dans le cadre de la transition vers une économie neutre en carbone devrait aller de pair avec une réduction des surfaces allouées à d'autres cultures, mais sans compromettre la sécurité alimentaire. Cela signifierait concrètement une réduction des surfaces consacrées aux cultures destinées à l'alimentation des animaux. Il sera utile d'utiliser plus efficacement l'azote, mais comme il est peu probable que cela suffise la production animale devrait vraisemblablement diminuer.

69. En raison du rôle transfrontalier de l'ammoniac dans la formation des particules secondaires, de l'importance de cette question pour la protection de la biodiversité et de ses liens avec les politiques en matière de climat et de sécurité alimentaire, il est important de poursuivre l'échange d'informations sur les mesures techniques et non techniques de réduction. À court terme au moins, la définition d'un calendrier clair des mesures de réduction de l'ammoniac envisagées permettrait aux pays voisins d'étayer leurs plans nationaux sur la qualité de l'air par des estimations quantitatives.

⁶⁸ B. J. de Haan *et al.* (2009), *Emissiearm bemesten geëvalueerd*, PBL-report 500155001, Bilthoven.