



Conseil économique et social

Distr. générale
27 septembre 2011
Français
Original: anglais

Commission économique pour l'Europe

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

Vingt-neuvième session

Genève, 12-16 décembre 2011

Point 5 de l'ordre du jour provisoire

État d'avancement des activités de base et exécution du plan de travail pour 2011

L'évaluation de l'azote à l'échelle européenne: résumé à l'intention des décideurs

Soumis par les coprésidents de l'Équipe spéciale de l'azote réactif

Résumé

L'évaluation à l'échelle européenne de l'azote¹ propose une série de sept actions clefs étroitement liées aux objectifs du Protocole à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique (Protocole de Göteborg). Ce Protocole étant en cours de révision, le Groupe de travail des stratégies et de l'examen créé en vertu de la Convention a invité à sa quarante-huitième session les coprésidents de l'Équipe spéciale de l'azote réactif à lui soumettre à sa quarante-neuvième session, en septembre 2011, un résumé de l'évaluation à l'intention des décideurs afin qu'il puisse être transmis en décembre 2011 à l'Organe exécutif sous la forme d'un document officiel en vue de la révision du Protocole de Göteborg (ECE/EB.AIR/WG.5/104, par. 42 d)). Ce document sera également utile pour la mise en œuvre de la stratégie à long terme définie au titre de la Convention.

¹ M. A. Sutton, C. M. Howard, J. W. Erisman *et al.*, eds. (Cambridge University Press, 2011).
Publication disponible à l'adresse: <http://www.nine-esf.org/ENA>.

Table des matières

	<i>Page</i>
I. Messages essentiels.....	4
A. Trop d'azote est préjudiciable à l'environnement et à l'économie	4
B. Cascade et bilans de l'azote.....	4
C. Politiques et gestion.....	4
D. Coopération et communication à l'échelle internationale	5
II. Pourquoi l'azote? Inquiétudes et nécessité de solutions nouvelles	5
III. Rôle et approche de l'évaluation de l'azote à l'échelle européenne	6
IV. Déstabilisation du cycle de l'azote en Europe	7
A. Les engrais, l'énergie et les transports à l'origine d'une augmentation des apports d'azote	7
B. La cascade de l'azote.....	7
C. Un nouveau bilan d'azote pour l'Europe.....	8
D. Succès et limites des politiques actuelles	9
V. Bénéfices et efficacité de l'azote dans l'agriculture.....	10
A. Les engrais azotés aident à nourrir l'Europe	10
B. La production céréalière et la production de viande présentent des différences considérables du point de vue des déperditions d'azote réactif dans l'environnement.....	10
C. Les variations du rendement de l'azote révèlent des possibilités de solutions	11
VI. Les principaux dangers d'un excès d'azote.....	11
A. L'azote en tant que menace pour la qualité des eaux en Europe	11
B. L'azote en tant que menace pour la qualité de l'air en Europe.....	12
C. L'azote en tant que menace pour la neutralisation de l'effet de serre en Europe	12
D. L'azote en tant que menace pour les écosystèmes terrestres et la biodiversité en Europe	13
E. L'azote en tant que menace pour la qualité des sols en Europe.....	13
VII. Les aspects économiques de la présence d'azote dans l'environnement.....	14
A. Baisse estimative de la prospérité résultant des émissions d'azote en Europe	14
B. Mesures d'atténuation et scénarios futurs concernant l'azote en Europe	14
VIII. Possibilités d'approches intégrées de la gestion de l'azote	16
A. Pour une gestion globale de la cascade de l'azote	16
B. Sept actions clés pour une meilleure gestion de la cascade de l'azote	16
IX. Les défis à relever au niveau de la société et des politiques	18
A. L'azote dans les accords multilatéraux sur l'environnement et la recherche future	18
B. Les choix de la société, la sensibilisation du public et l'évolution des comportements	18

Liste des figures

1.	Tendance estimative des apports d'azote réactif d'origine anthropique dans l'Union européenne (UE-27)	20
2.	Schéma simplifié de la cascade de l'azote, mettant en évidence la capture de diazote atmosphérique (N ₂) pour la formation d'azote réactif (Nr) selon le procédé Haber-Bosch – principale source d'azote réactif en Europe	20
3.	Comparaison simplifiée du cycle de l'azote en Europe (UE-27) entre 1900 et 2000	21
4.	Tendances estimatives des émissions d'azote réactif en Europe entre 1900 et 2000 (UE-27)	21
5.	Variations de l'utilisation d'engrais azotés pour la culture de blé d'hiver dans l'Union européenne (EU-15: rouge, UE-12: bleu) aux alentours de l'année 2000	22
6.	Spectre de l'efficacité du captage de l'azote réactif dans la production animale en Europe (kg N poids de viande nette par kg N en fourrage)	23
7.	Résumé des cinq grandes menaces que représente l'excès d'azote réactif, par analogie aux éléments de la cosmologie de la Grèce classique.....	24
8.	Coûts environnementaux estimatifs dus aux émissions d'azote réactif dans l'air et dans l'eau dans l'UE-27	24
9.	Scénarios des émissions d'azote dans l'UE-27 d'après les voies de concentration représentatives (PCR) pour trois schémas différents de forçage radiatif	25

I. Messages essentiels

A. Trop d'azote est préjudiciable à l'environnement et à l'économie

- Au cours du siècle écoulé, l'homme a modifié comme jamais auparavant le cycle global de l'azote, convertissant le diazote atmosphérique (N_2) en de nombreuses formes d'azote réactif (N_r), doublant le taux de fixation du N_r à l'échelle mondiale et faisant plus que le tripler en Europe.
- L'utilisation croissante d'azote réactif sous forme d'engrais permet à la population mondiale de croître mais a des effets négatifs considérables sur l'environnement et la santé. L'azote réactif présente pour la société cinq grandes menaces qui concernent la qualité des eaux, la qualité de l'air, l'effet de serre, les écosystèmes et la biodiversité et la qualité des sols.
- Une analyse des coûts et avantages montre que le coût environnemental global du total des pertes d'azote réactif en Europe (évalué à €70-320 milliards par an aux taux actuels) l'emporte sur les gains économiques directs que représente l'azote réactif dans l'agriculture. Du point de vue de la société, les coûts les plus élevés sont associés à la baisse de la qualité de l'air et des eaux, qui se répercute sur les écosystèmes et en particulier la santé.

B. Cascade et bilans de l'azote

- Les différentes formes d'azote réactif se transforment dans l'environnement de telle sorte qu'un atome d'azote réactif peut contribuer à de nombreux effets sur l'environnement avant d'être immobilisé ou finalement reconverti en diazote (N_2). Le devenir de l'azote réactif d'origine anthropique peut donc être vu comme une cascade de formes et d'effets qui montre à quel point les solutions à apporter aux différents problèmes posés par l'azote réactif sont interreliées et qu'une approche globale s'impose pour optimiser les synergies et limiter au maximum les compromis à faire.
- C'est sur les bilans d'azote que doivent être basés l'élaboration et le choix des mesures à prendre pour réduire les émissions et leurs effets dans tous les milieux environnementaux. Par exemple, le bilan d'azote en Europe met en lumière le rôle de l'élevage dans le cycle de l'azote en Europe.

C. Politiques et gestion

- Les politiques existantes relatives à l'azote réactif ont en grande partie été établies de façon fragmentaire, sur la base de distinctions entre les formes d'azote réactif, les milieux et les secteurs. Bien que l'on s'efforce depuis des années de limiter les quantités d'azote réactif libérées dans l'environnement, la plupart des objectifs fixés pour réduire les effets de l'azote réactif sur la qualité de l'environnement et agir à ce niveau n'ont toujours pas été atteints.
- Les cinq menaces que présente l'azote réactif pour la société et les bilans d'azote doivent être le point de départ d'une gestion plus globale de l'azote réactif. L'évaluation européenne de l'azote a conduit à définir une série de sept actions clefs pour une gestion globale du cycle de l'azote en Europe. Ces actions concernent: l'agriculture (trois actions); les transports et l'industrie (une action); le traitement des eaux usées (une action); et les modes de consommation (deux actions).

- Ces actions clefs constituent un ensemble intégré de mesures pour l'élaboration et la mise en œuvre d'instruments de politique générale. La nécessité d'un tel ensemble est mise en évidence par une analyse coûts-avantages qui fait apparaître l'impact à long terme de plusieurs formes d'azote réactif, en particulier les oxydes d'azote (NO_x) et l'ammoniac (NH₃), des pertes de N_r dans l'eau, et de l'hémioxyde d'azote (N₂O).

D. Coopération et communication à l'échelle internationale

- Une coopération s'impose à l'échelle internationale pour s'attaquer au problème de l'azote réactif. Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour la mise en œuvre d'accords multilatéraux sur l'environnement et la possibilité de conclure un accord interconventions sur les besoins en azote devrait être explorée plus avant.
- Les outils de communication destinés à influencer sur les comportements devraient être étendus à l'azote et l'on pourrait par exemple calculer les «empreintes alimentaires» de l'azote. Des messages devraient mettre l'accent sur les retombées positives, pour la santé, d'une réduction de la consommation de produits d'origine animale destinée à éviter de dépasser les apports alimentaires recommandés.

II. Pourquoi l'azote? Inquiétudes et nécessité de solutions nouvelles

1. L'azote est très répandu sur la Terre dont il constitue près de 80 % de l'atmosphère. Toutefois, le diazote atmosphérique n'est pas réactif et est inassimilable par la plupart des organismes. En revanche, de nombreuses formes d'azote réactif sont essentielles à la vie mais ne sont naturellement présentes qu'en très petites quantités. Ce sont entre autres l'ammoniac, les nitrates, les acides aminés et les protéines. Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, l'existence de ces composés azotés en trop petites quantités en Europe a sérieusement limité la productivité agricole et industrielle [1.1, 2.1]².

2. Avec une démographie en hausse à la fin du XIX^e siècle, les taux de fixation biologique de l'azote sont devenus insuffisants et l'Europe a accru sa dépendance à l'égard des sources limitées d'azote réactif résultant de l'exploitation du guano, du salpêtre et du charbon. Au début du XX^e siècle, plusieurs procédés industriels ont été mis au point pour fixer l'azote gazeux en azote réactif, le plus efficace étant le procédé Haber-Bosch pour la production de NH₃ [1.1, 2.1].

3. Depuis les années 50, la production d'azote réactif a beaucoup augmenté, ce qui représente peut-être l'expérience la plus importante de géo-ingénierie à l'échelle mondiale [1.1]. Les besoins de l'Europe en engrais ont été satisfaits, de même que ses besoins en azote réactif pour l'armement et l'industrie [3.2, 3.5]. Par ailleurs, les procédés de combustion à haute température ont beaucoup favorisé la formation et la libération d'oxydes d'azote [2.4]. Mais, si elle a résolu son problème de pénurie d'azote réactif, l'Europe s'est retrouvée avec un héritage dont on en imaginait mal les conséquences pour l'environnement [1.1].

² Les références (par exemple, [1.1, 11.1]) renvoient aux chapitres et aux sections du texte de l'*European Nitrogen Assessment* (Évaluation de l'azote à l'échelle européenne).

4. L'Europe reste une source majeure de production d'azote réactif, dont les effets sur l'environnement sont pour beaucoup clairement visibles et bien étudiés. De nombreuses données sont disponibles sur les sources, le devenir et les effets de l'azote réactif mais la complexité et l'étendue des interactions en jeu ont favorisé l'éparpillement des connaissances scientifiques qui sont axées sur des secteurs distincts. Cette fragmentation s'observe aussi au niveau des politiques environnementales sur l'azote, qui sont distinctes selon qu'elles concernent les milieux (air, sol, eau, etc.), les problèmes à résoudre (climat, biodiversité, déchets, etc.) et les formes d'azote réactif [4.4, 5.3].

5. Si cette spécialisation a permis une compréhension très poussée des phénomènes considérés, les études scientifiques sur l'azote et les politiques dans ce domaine en Europe n'offrent plus d'image d'ensemble. La présence d'azote réactif sous de nombreuses formes et dans de nombreux milieux signifie que chaque élément ne devrait pas être considéré séparément. Une compréhension plus globale du cycle de l'azote serait donc nécessaire pour que soient réduits les effets nocifs de l'azote réactif sur l'environnement et optimisées en même temps la production de denrées alimentaires et la consommation d'énergie [5.3].

III. Rôle et approche de l'évaluation de l'azote à l'échelle européenne

6. L'enjeu serait de condenser les résultats des travaux scientifiques et les connaissances sur l'azote sous une forme qui soit utile aux pouvoirs publics et à la société. En d'autres termes, il faudrait que les différentes formes d'azote réactif, les disciplines et les parties prenantes concernées soient prises en compte ensemble.

7. C'est pour répondre à ce besoin qu'a été réalisée l'évaluation de l'azote à l'échelle européenne. Elle a été coordonnée par le programme «L'azote en Europe» de la Fondation européenne pour la science sur la base de travaux de recherche menés dans toute l'Europe mais en particulier au titre du Projet intégré NitroEurope cofinancé par la Commission européenne et Action COST 729. Elle est une contribution de l'Europe à l'Initiative internationale sur l'azote [1.3].

8. En matière de politiques à mener, l'évaluation concerne principalement la Convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, établie sous les auspices de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe (CEE). Par le biais de son Équipe spéciale de l'azote réactif, l'organe directeur de la Convention a adopté officiellement l'évaluation en tant que contribution à ses activités [1.3].

9. Le but de l'évaluation est également d'apporter un soutien scientifique et politique à l'Union européenne et à ses États membres, de même qu'à d'autres accords multilatéraux sur l'environnement, dont le Partenariat mondial sur la gestion des nutriments qui est animé par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) [1.5].

10. Compte tenu de ces besoins, le but de l'évaluation de l'azote à l'échelle européenne a été défini comme suit: *faire le point des connaissances scientifiques actuelles sur les sources, les effets et les interactions de l'azote dans toute l'Europe eu égard aux politiques menées et aux coûts et avantages économiques de manière à guider l'élaboration des politiques à appliquer à l'avenir aux niveaux local à mondial* [1.4].

11. L'évaluation a été conduite à travers une série de cinq ateliers scientifiques publics tenus entre 2007 et 2009. Des avant-projets du texte de l'évaluation ont été soumis à des examens collégiaux internes et externes [1.3].

IV. Déstabilisation du cycle de l'azote en Europe

A. Les engrais, l'énergie et les transports à l'origine d'une augmentation des apports d'azote

12. La production d'azote réactif est un apport majeur pour l'agriculture et l'industrie et une conséquence indirecte continue de la combustion pour l'énergie et les transports. En Europe, la production industrielle d'azote réactif a atteint en 2008 quelque 34 Tg par an (1 Tg = 1 million de tonnes), dont 75 % pour la fabrication d'engrais et 25 % pour l'industrie chimique (caoutchoucs, matières plastiques et différentes utilisations dans les industries des composants électroniques, des métaux et du pétrole) [3.5]. Les tendances de la production d'engrais minéraux sont à l'origine des plus grands changements survenus au cours du siècle dernier dans l'apport global d'azote réactif en Europe (fig. 1).

13. L'utilisation des combustibles fossiles a favorisé l'essor de l'industrie et des transports qui a entraîné une forte hausse des émissions d'oxydes d'azote qui n'ont été que partiellement contrôlées au cours des vingt dernières années seulement. Inversement, la contribution totale de la fixation biologique de l'azote par les cultures a sensiblement diminué.

14. La production d'azote réactif grâce au procédé Haber-Bosch a levé un obstacle majeur à l'évolution de la société, en permettant une forte augmentation de la population et une amélioration du bien-être. Toutefois, si l'on tient compte des sources naturelles d'azote, l'homme a plus que doublé l'apport d'azote réactif dans l'environnement mondial [1.1], et l'a plus que triplé en Europe (fig. 3) [16, informations complémentaires].

15. En 2000, l'Europe créait environ 19 Tg d'azote réactif par an, dont 11 Tg provenaient des engrais chimiques, 3,4 Tg des sources de combustion, 3,5 Tg des importations de denrées alimentaires et de fourrage et 1 Tg de la fixation biologique de l'azote par les cultures (fig. 3).

B. La cascade de l'azote

16. La production par l'homme d'azote réactif à partir de diazote entraîne une cascade de conséquences intentionnelles et non intentionnelles. La cascade de conséquences intentionnelles est que chaque molécule d'azote réactif contribue à accroître la fertilité des sols et le rendement des cultures et donc à nourrir le bétail et les êtres humains en permettant la formation d'acides aminés, de protéines et d'acide désoxyribonucléique (ADN). Dans un système correctement géré, l'azote réactif contenu dans le fumier et les eaux usées doit être complètement recyclé par l'agriculture (flèches bleues dans la figure 2).

17. Toutefois, l'azote réactif est extrêmement mobile et ses émissions provenant de l'agriculture, de la combustion et de l'industrie entraînent une cascade non intentionnelle de déperditions d'azote réactif dans l'environnement naturel (fig. 2). Une fois libéré, l'azote réactif subit des réactions en cascade dans les différents milieux, passant par des échanges entre ses différentes formes et contribuant à un large spectre d'effets sur l'environnement avant d'être finalement reconverti en diazote par dénitrification. Ces réactions en cascade ont notamment pour conséquence que les impacts environnementaux de l'azote réactif finissent par être indépendants des sources ce qui fait que la gestion de l'azote requiert une approche globale. Cela est important car il s'agit à la fois de réduire les «échanges de pollution» entre les différentes formes et menaces de l'azote réactif et d'optimiser les possibilités de synergies entre les stratégies d'atténuation et d'adaptation [2.6, 5.2].

C. Un nouveau bilan d'azote pour l'Europe

18. Les responsables de l'évaluation de l'azote à l'échelle européenne se sont notamment attachés à construire un bilan d'azote complet pour l'Europe (UE-27³ pour l'année 2000) sur la base des principaux flux de la cascade de l'azote [16.4]. Les estimations qui ont été faites ont été comparées aux données disponibles pour 1900 [16, informations complémentaires]. En combinant l'ensemble des flux d'azote, ces bilans donnent un tableau plus précis des principaux éléments moteurs et des mesures susceptibles d'être les plus efficaces.

19. On trouvera à la figure 3 un résumé du bilan d'azote européen sous sa forme la plus simple [dérivé de la section 16.4]. Le bilan établi pour l'année 2000 montre que la désorganisation du cycle de l'azote par l'homme résulte essentiellement des activités agricoles. Les émissions atmosphériques d'oxydes d'azote résultant des transports et des activités industrielles contribuent à de nombreux effets sur l'environnement mais elles ne représentent pratiquement rien par rapport aux flux d'azote réactif liés à l'agriculture.

20. Il est important de noter l'ampleur des flux d'azote réactif dans l'agriculture, liés essentiellement aux engrais azotés. L'utilisation première de cet azote réactif n'est cependant pas l'alimentation humaine puisque 80 % sert à nourrir le bétail (8,7 Tg par an, plus 3,1 Tg par an en importations de plantes fourragères, soit au total 11,8 Tg par an). Par comparaison, la consommation d'azote réactif par l'homme est beaucoup plus faible, puisqu'elle ne représente que 2 Tg par an en cultures végétales et 2,3 Tg par an en produits d'origine animale. L'élevage, et par conséquent, les grandes quantités de fourrage qu'il nécessite, constitue donc le principal moteur humain de la désorganisation du cycle de l'azote en Europe [16.4].

21. Ces altérations intentionnelles majeures des flux d'azote réactif provoquent de nombreux flux supplémentaires non intentionnels (fig. 3). Globalement, les émissions de NH₃ provenant de l'agriculture (3,2 Tg par an) contribuent presque autant que les oxydes d'azote (3,4 Tg par an) aux émissions d'azote réactif. L'agriculture est aussi à l'origine de 70 % des émissions d'hémioxyde d'azote, qui atteignent au total 1 Tg par an. La chaîne alimentaire joue également un rôle prédominant dans les pertes d'azote réactif dans les sols et les eaux de surface, principalement sous forme de nitrates (NO₃), avec une charge brute de 9,7 Tg résultant essentiellement des pertes dues à l'agriculture (60 %) et des rejets provenant des systèmes de traitement des eaux usées et d'épuration (40 %) [16.4].

22. Une comparaison entre 1900 et 2000 montre à quel point chacun de ces flux a augmenté, y compris la dénitrification qui retourne l'azote à l'atmosphère sous sa forme N₂. La dénitrification est la déperdition la plus importante et la plus incertaine car elle se produit à différents stades du cycle, depuis les sols jusqu'aux eaux douces et aux eaux côtières. Bien que les émissions de N₂ soient sans danger pour l'environnement, elles représentent un gaspillage de la somme importante d'énergie mise dans la production humaine d'azote réactif, contribuant ainsi indirectement aux changements climatiques et à la pollution de l'air. À cela s'ajoute l'impact sur les changements climatiques de la formation d'hémioxyde d'azote comme produit secondaire de la dénitrification.

³ Les 27 États membres de l'Union européenne sont les suivants: Allemagne, Autriche, Belgique, Bulgarie, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Slovaquie, Slovénie et Suède.

D. Succès et limites des politiques actuelles

23. En Europe, la production d'azote réactif a atteint son maximum dans le courant des années 80, à cause de la surproduction agricole et de l'absence de réglementation des émissions. Depuis cette époque, l'adoption de politiques nouvelles et l'introduction d'autres changements dans l'agriculture (dont la politique agricole commune, la Directive de l'UE sur les nitrates et la restructuration de l'Europe de l'Est après 1989), de même que les contrôles stricts des émissions appliqués par exemple aux grandes installations de combustion (Directive de l'UE relative aux grandes installations de combustion, Protocole de Sofia relatif à la lutte contre les émissions d'oxydes d'azote ou leurs flux transfrontières, Protocole de Göteborg relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique, etc.) et les normes EURO applicables aux véhicules de transport routier ont entraîné une diminution des émissions (fig. 4) [4.4].

24. Globalement, les émissions d'oxydes d'azote résultant de la combustion ont baissé de 30 % depuis 1990 mais des réductions beaucoup plus importantes ont été obtenues par unité de production. Elles ont cependant été neutralisées par l'augmentation du trafic routier et de la consommation d'énergie. La réduction nette des émissions offre donc un excellent exemple de dissociation puisque les émissions auraient augmenté de plus de 30 % si aucune mesure n'avait été prise. Le succès de ces mesures techniques tient en partie au petit nombre d'acteurs concernés (industrie de l'approvisionnement en électricité et fabricants de véhicules à moteur par exemple) et au fait qu'il a été facile d'en imputer le coût aux usagers [4.5].

25. Les mesures prises dans l'agriculture n'ont entraîné qu'une baisse modeste (-15 %) du total des apports d'azote réactif dans les 27 pays de l'UE (fig. 1), comme en témoignent les tendances des émissions de NH_3 (fig. 4). Les réductions obtenues à ce jour résultent pour la plupart d'une diminution de la consommation d'engrais et du cheptel, en particulier en Europe de l'Est après 1989. Bien que des améliorations au niveau de la gestion aient contribué à une baisse des émissions (lessivage des nitrates et déperditions vers les zones marines par exemple), les mesures prises pour réduire les émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac résultant de l'agriculture n'ont guère été suivies d'effets d'un point de vue quantitatif. Le fait que les politiques actuelles de réduction des émissions d'azote réactif dans l'agriculture (Directive de l'UE relative aux nitrates, Commission OSPAR pour la protection et la préservation de l'Atlantique du Nord-Est et de ses ressources, Protocole de Göteborg de la CEE et Directive de l'UE relative aux plafonds d'émission nationaux par exemple) n'aient guère progressé peut être attribué en partie au nombre important des acteurs concernés (dont beaucoup de petites exploitations), au caractère diffus des sources d'émission d'azote réactif et à la difficulté d'imputer aux usagers des coûts qu'ils perçoivent [4.5]. L'agriculture est donc le secteur qui continue d'offrir le potentiel le plus important en matière de réduction des émissions.

26. Dans plusieurs cas, le contrôle des émissions d'azote réactif a consisté à remplacer une pollution par une autre. On citera notamment l'introduction des catalyseurs trifonctionnels qui a conduit à une augmentation des émissions d'ammoniac et d'hémioxyde d'azote (malgré une baisse sensible des émissions globales d'azote réactif) et l'application de la directive relative aux nitrates interdisant l'épandage de fumier en hiver, qui a entraîné un nouveau pic des émissions d'ammoniac au printemps [9.2].

V. Bénéfices et efficacité de l'azote dans l'agriculture

A. Les engrais azotés aident à nourrir l'Europe

27. Il ne fait aucun doute que la production par l'homme d'azote réactif a beaucoup contribué à accroître la productivité des terres agricoles. Sans azote réactif anthropique, un hectare de bonne terre agricole en Europe peut, sans autres limitations, produire environ 2 tonnes de céréales par an. Avec les apports supplémentaires résultant de la fixation biologique de l'azote, cet hectare peut produire 4 à 6 tonnes par an et, avec l'adjonction d'engrais chimiques, environ 8 à 10 tonnes. On estime que les engrais azotés chimiques permettent de subvenir aux besoins de près de 50 % de la population mondiale et assurent à l'UE une large autosuffisance en matière de production céréalière. Pour la production de porcs, de volailles et d'œufs, l'Europe est fortement dépendante des importations de soja d'Amérique [3.1].

28. L'efficacité agronomique fournit un indicateur des bénéfices de l'azote réactif pour l'exploitant agricole (kilo de production végétale par kilo d'azote appliqué). D'une manière générale, les taux d'engrais sont jusqu'à quatre fois plus faibles dans les États membres de l'UE de l'Est que dans les 15 «premiers» États membres, mais les taux d'efficacité agronomique sont comparables (fig. 5). L'utilisation d'azote réactif est profitable puisque l'on peut compter sur un rendement financier de 2 à 5 euros pour chaque euro investi sous forme d'engrais, selon le prix des céréales et des engrais sur le marché [3.6].

B. La production céréalière et la production de viande présentent des différences considérables du point de vue des déperditions d'azote réactif dans l'environnement

29. Le taux de prélèvement d'azote par les plantes (kilo d'azote prélevé par kilo d'azote appliqué) est une mesure des déperditions d'azote dans l'environnement dans la production végétale. Pour les céréales, il varie entre 30 et 60 % à travers l'Europe ce qui signifie que de 40 à 70 % de l'azote réactif utilisé comme engrais est perdu dans l'atmosphère ou dans l'hydrosphère [3.2].

30. Le prélèvement d'azote est forcément plus faible dans l'élevage que dans l'agriculture, 10 à 50 % seulement de l'azote réactif des plantes fourragères étant retenu en poids vif et 5 à 40 % en poids de viande nette (fig. 6). Si l'on tient compte des déperditions supplémentaires d'azote réactif dans la production fourragère, l'efficacité globale de l'utilisation d'azote réactif pour la production de viande représente environ la moitié de ces valeurs. Ainsi, la chaîne de production de protéines d'origine animale génère beaucoup plus de pertes dans l'environnement que la chaîne de production de protéines d'origine végétale.

31. Un tiers environ (7,1 Tg par an en 2000) de l'apport agricole d'azote réactif aux sols provient du fumier. Cela représente environ les deux tiers de l'azote réactif du fourrage cependant que la fraction d'azote réactif du fumier perdue dans l'environnement est généralement le double de celle des engrais azotés minéraux, ce qui montre combien il est important de prendre des mesures pour optimiser l'efficacité de la réutilisation du fumier [3.2].

C. Les variations du rendement de l'azote révèlent des possibilités de solutions

32. L'efficacité globale de l'agriculture européenne (rapport entre l'azote des aliments produits et la somme d'engrais azotés chimiques utilisés plus les importations de denrées alimentaires et de fourrage) est d'environ 30 % depuis 2000 [tiré de la section 16.4, voir la figure 3]. Les variations des taux d'épandage d'azote et des rendements de l'azote à travers l'Europe montrent qu'il y a amplement matière à améliorer l'efficacité des ressources et à réduire les effets sur l'environnement (fig. 5).

33. Dans l'UE, la consommation de protéines dépasse de 70 % l'apport recommandé [26.3] et la part des protéines d'origine animale est en augmentation. Une modification même mineure du régime alimentaire qui comporterait moins de protéines d'origine animale (ou des protéines d'animaux offrant un meilleur rendement) aurait un impact significatif sur le cycle de l'azote en Europe.

VI. Les principaux dangers d'un excès d'azote

34. À partir d'une liste d'une vingtaine de préoccupations, les responsables de l'évaluation ont défini les cinq principales menaces que représentent pour la société des quantités excessives d'azote réactif dans l'environnement: qualité des eaux, qualité de l'air, effet de serre, écosystèmes et biodiversité et qualité des sols. Il est facile de les mémoriser à l'aide de l'acronyme anglais «WAGES» (W pour eau, A pour air, G pour effet de serre, E pour *ecosystems* et S pour sols) ou, en français, «solaire de l'excès d'azote» et également par analogie aux quatre éléments (eau, air, feu, terre) de la cosmologie de la Grèce classique (fig. 7). Ces cinq menaces constituent un cadre qui intègre la quasi-totalité des questions liées à la liste plus longue de préoccupations que suscite l'excès d'azote réactif [5.4].

A. L'azote en tant que menace pour la qualité des eaux en Europe

35. La pollution des eaux par l'azote réactif provoque l'eutrophisation et l'acidification des eaux douces [7.4, 8.8]. Les estuaires, les zones côtières adjacentes et les mers intérieures (proches) sont également touchés par l'eutrophisation, avec des apports d'azote réactif quatre fois plus élevés que dans le milieu naturel [13.7]. Parmi les effets, on citera la perte de biodiversité et le développement d'algues toxiques et de zones biologiquement mortes (poissons morts) [8.8]. Dans presque toute l'Europe, les taux de nitrates dans les eaux douces dépassent de loin un seuil de 1,5 à 2 mg d'azote réactif par litre, au-dessus duquel les masses d'eau peuvent souffrir d'une perte de biodiversité [7.5, 17.3].

36. De fortes concentrations de nitrates dans l'eau de boisson sont considérées comme dangereuses pour la santé puisqu'elles peuvent être la cause de cancers et (bien que rarement) de méthémoglobinémie infantile. Près de 3 % de la population de l'Europe des 15⁴ est potentiellement exposée à des concentrations supérieures à la norme fixée pour l'eau de boisson qui est de 50 mg de NO₃ par litre (11,2 mg d'azote réactif par litre) et 6 % à des concentrations supérieures à 25 mg de NO₃ par litre [17.3]. Ce type d'exposition pourrait être à l'origine d'une augmentation de 3 % de l'incidence du cancer du colon, mais les

⁴ L'Europe des 15 comprend la Belgique, le Danemark, l'Allemagne, la Grèce, l'Espagne, la France, l'Irlande, l'Italie, le Luxembourg, les Pays-Bas, l'Autriche, le Portugal, la Finlande, la Suède et le Royaume-Uni.

nitrate sont également considérés comme bénéfiques pour le système cardiovasculaire [22.3].

37. Bien que l'eutrophisation des eaux ait un peu diminué depuis les années 80, les politiques adoptées à l'échelle internationale n'ont pas été pleinement appliquées. De plus, des concentrations accrues de nitrates dans les eaux souterraines menacent leur qualité à long terme en raison de leur long temps de présence dans les nappes aquifères [7.5, 17.2]. Pour progresser vraiment à l'échelle européenne, il faudrait réaliser l'intégration des politiques sectorielles afin de réduire le total des apports d'azote réactif dans les bassins versants [4.5, 13.7, 17.5].

B. L'azote en tant que menace pour la qualité de l'air en Europe

38. La pollution de l'air par les oxydes d'azote et l'ammoniac entraîne la formation de matières particulaires secondaires cependant que les émissions d'oxydes d'azote accroissent aussi les concentrations de NO₂ et d'ozone troposphérique. Les trois sont la cause de problèmes respiratoires et de cancers chez l'homme tandis que l'ozone nuit aux cultures et à la végétation de même qu'aux bâtiments et aux autres éléments du patrimoine culturel [18.2, 18.5].

39. Des travaux de modélisation montrent que les matières particulaires contribuent en principe chaque année en Europe à 300 000-400 000 décès prématurés, soit une réduction de l'espérance de vie de six à douze mois dans la plus grande partie de l'Europe centrale. L'azote réactif est à l'origine de 30 à 70 % des matières particulaires par masse [18.3, 18.5]. Cela étant, la contribution des aérosols contenant des oxydes d'azote et de l'azote réactif aux effets de la pollution atmosphérique sur la santé reste incertaine [18.2].

40. Bien que les pics de concentrations d'ozone troposphérique aient diminué à la suite de la baisse des émissions d'oxydes d'azote, les concentrations ambiantes d'ozone troposphérique continuent d'augmenter. Par rapport aux progrès pourtant limités de la réduction des émissions d'oxydes d'azote, le contrôle des émissions d'ammoniac provenant de l'agriculture a été moins satisfaisant encore, ce qui fait que la part de l'ammoniac dans la pollution de l'air en Europe continue d'augmenter [4.5, 18.6].

C. L'azote en tant que menace pour la neutralisation de l'effet de serre en Europe

41. Les émissions d'azote réactif ont des effets à la fois réchauffants et refroidissants. Les principaux éléments réchauffants sont l'augmentation des concentrations de N₂O et d'ozone troposphérique qui sont des gaz à effet de serre. Les principaux effets refroidissants sont les dépôts d'azote réactif d'origine atmosphérique qui favorisent l'absorption de dioxyde de carbone (CO₂) par les forêts et la formation d'aérosols qui dispersent la lumière et favorisent la formation de nuages [19].

42. On estime que globalement, les émissions d'azote réactif en Europe ont un effet refroidissant net sur le climat, de -16 mW au mètre carré, avec néanmoins une fourchette d'incertitude située entre un refroidissement substantiel et un léger réchauffement net (-47 à +15 mW/m²). Les incertitudes les plus grandes concernent les effets des aérosols et de la fertilisation et l'estimation des contributions de l'Europe dans le contexte mondial [19.6]. L'estimation donnée par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour les émissions indirectes de N₂O provenant des dépôts d'azote réactif est considérée être une sous-estimation d'un facteur égal à au moins 2 [6.6, 19.6].

43. Il existe de nombreuses possibilités de «gestions intelligentes» susceptibles d'accroître l'effet refroidissant net de l'azote réactif et d'en limiter les effets réchauffants tout en réduisant d'autres menaces, par exemple par l'établissement de liens entre les cycles de l'azote et du carbone dans le but d'atténuer les émissions de gaz à effet de serre par une utilisation plus efficace de l'azote [19.6].

D. L'azote en tant que menace pour les écosystèmes terrestres et la biodiversité en Europe

44. Les dépôts d'azote réactif d'origine atmosphérique poussent les espèces végétales favorisant des apports élevés d'azote réactif ou des conditions plus acides à éliminer de nombreuses espèces sensibles, menaçant la biodiversité dans toute l'Europe. Les habitats les plus vulnérables sont ceux où vivent des espèces adaptées à de faibles niveaux d'éléments nutritifs ou faiblement tamponnées contre l'acidification. Outre l'eutrophisation, l'azote réactif de l'atmosphère endommage directement le feuillage des végétaux, provoque l'acidification et entraîne une sensibilité accrue aux organismes pathogènes [20.3].

45. Bien que des incertitudes subsistent quant aux effets relatifs des nitrates (NO_3) de l'atmosphère et de l'ammonium (NH_4^+), l'ammoniac (NH_3) peut être particulièrement nocif pour la végétation, causant des dommages aux feuilles et aux feuillages, en particulier aux plantes de petite taille [20.3]. Cela met en évidence la menace à laquelle sont soumis les habitats semi-naturels présents dans les paysages agricoles [9.6, 11.5]. Bien que cela ne soit pas certain, les dépôts d'azote réactif devraient avoir des effets de synergie avec les changements climatiques et l'ozone troposphérique [20.2].

46. Les limites fixées pour les concentrations et les dépôts d'azote réactif d'origine atmosphérique dans les habitats semi-naturels sont dépassées dans la plus grande partie de l'Europe et continueront de l'être si l'on se réfère aux projections actuelles des émissions d'azote réactif. La régénération des écosystèmes exigerait de nouvelles réductions des émissions d'ammoniac et d'oxydes d'azote [20.5]. Compte tenu des effets cumulatifs des apports d'azote réactif et des temps de réaction importants à prévoir, le rythme de la régénération des écosystèmes devrait être lent et requérir dans certains cas des interventions actives dans les habitats touchés [20.5].

E. L'azote en tant que menace pour la qualité des sols en Europe

47. Les sols combinent de nombreux autres effets de l'azote réactif, qui sont interreliés. Les menaces que fait peser l'azote réactif sur les sols sont essentiellement l'acidification, des modifications de leur contenu en matières organiques et une perte de biodiversité. L'acidification peut résulter du dépôt d'azote réactif oxydé et réduit, résultant des émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac, réduisant la croissance des forêts et conduisant au lessivage de métaux lourds [21.3]. Le dépôt de concentrations élevées d'azote réactif dans les tourbières naturelles peut entraîner une diminution des stocks de carbone à la suite d'interactions avec les modifications intervenant dans les espèces végétales mais cet effet est mal quantifié [6.6, 19.4].

48. L'adjonction d'azote réactif a généralement un effet bénéfique sur les sols agricoles, dont elle accroît la fertilité et le contenu en matières organiques [6.4, 21.3]. Toutefois, les pertes d'azote augmentent tandis que certains champignons et les bactéries fixatrices d'azote diminuent. Les interactions entre l'azote réactif et la biodiversité des sols, la fertilité des sols et les émissions d'azote réactif sont mal connues [21.3].

49. D'après les projections, les sols des forêts européennes devraient perdre de l'acidité d'ici quelques décennies, essentiellement à la suite de la diminution des émissions de SO₂ et d'oxydes d'azote. Les émissions d'ammoniac n'ont que légèrement baissé et le NH_x (ammoniac plus ammonium) joue un rôle de plus en plus grand dans l'acidification des sols dans de grandes parties de l'Europe [20.3, 21.4].

VII. Les aspects économiques de la présence d'azote dans l'environnement

A. Baisse estimative de la prospérité résultant des émissions d'azote en Europe

50. On a estimé le coût social des effets négatifs de la présence d'azote réactif dans l'environnement européen. Exprimées en euros par kilo d'émission d'azote réactif, les valeurs les plus élevées sont associées aux effets de la pollution atmosphérique par les oxydes d'azote sur la santé (10-30 € par kg), suivis par les effets des déperditions d'azote réactif dans l'eau sur les écosystèmes aquatiques (5-20 € par kg) et les effets de l'ammoniac sur la santé liés aux matières particulaires (2-20 € par kg). Les valeurs les plus faibles correspondent aux effets des nitrates contenus dans l'eau de boisson sur la santé (0-4 € par kg) et aux effets du N₂O sur la santé liés à l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique (1-3 € par kg) [22.6].

51. En combinant ces coûts au total des émissions de chaque principale forme d'azote réactif, on obtient une première estimation des dommages causés chaque année par l'azote réactif dans les 27 pays de l'UE (fig. 8). Le coût total est estimé à 70-320 milliards d'euros annuels, dont 75 % pour la pollution atmosphérique et 60 % pour la santé. Ce coût, qui correspond à 150-350 euros par personne, soit 1 à 4 % du revenu moyen [22.6], et à peu près le double de ce que l'on est actuellement prêt à payer pour lutter contre le réchauffement climatique par le biais d'échanges de droits d'émission [22.6].

52. Les dommages causés à l'environnement par l'azote réactif utilisé dans l'agriculture dans les 27 pays de l'UE ont été estimés à 20-150 milliards d'euros par an. Ces chiffres peuvent être comparés au bénéfice que représente pour les agriculteurs l'utilisation d'engrais azotés, soit 10-100 milliards d'euros par an, avec toutefois une très grande incertitude quant aux effets à long terme de l'azote sur le rendement des cultures [22.6].

53. Outre les incertitudes inhérentes à l'attribution de valeurs à l'environnement, y compris l'estimation de ce que l'on est prêt à payer pour des services écosystémiques, les principales incertitudes liées à ces estimations concernent la part relative de l'azote réactif dans les effets des matières particulaires sur la santé et dans l'eutrophisation des eaux douces [22.6].

B. Mesures d'atténuation et scénarios futurs concernant l'azote en Europe

54. L'internalisation des coûts environnementaux d'une agriculture reposant sur l'utilisation intensive d'azote dans le nord-ouest de l'Europe donne des taux annuels de fertilisation azotée économiquement optimaux qui sont d'environ 50 kg par hectare (30 %) inférieurs aux taux optimaux pour l'exploitant privé. Cela montre à quel point il est important d'améliorer le rendement de l'azote et de prendre en compte les effets externes sur l'environnement dans les recommandations sur l'azote adressées aux exploitants agricoles [22.6].

55. Ces résultats montrent aussi que le coût global dû aux émissions de N_2O est faible par rapport à celui des émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac et des déperditions d'azote réactif dans l'eau (fig. 8). Malgré des coûts unitaires du même ordre de 6 à 18 euros par kilo d'azote réactif émis, les émissions de N_2O sont beaucoup plus faibles (par. 21), si bien que le coût total des dommages dus au N_2O est très inférieur aux coûts liés aux autres formes d'azote réactif. Si l'on tient compte de la volonté de payer et des valeurs actuelles, il apparaît que la réduction des émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac dans l'atmosphère et des pertes d'azote réactif dans l'eau doit avoir la priorité sur le contrôle des émissions de N_2O . Il est important de privilégier les mesures ayant le maximum d'effets synergiques, capables de réduire simultanément les émissions de toutes les formes d'azote réactif et leurs effets. Dans les cas où certaines mesures impliqueraient des compromis limités (remplacement d'une pollution par une autre), il ressort de la figure 8 que réduire encore les émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac et les pertes d'azote réactif dans l'eau serait économiquement justifié même s'il devait en résulter un accroissement proportionnel des émissions de N_2O .

56. Une estimation des coûts des mesures techniques à prendre pour réduire les émissions d'oxydes d'azote, d'ammoniac et de N_2O est disponible dans le modèle GAINS des interactions et des synergies entre les gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique de l'Institut international d'analyse des systèmes appliqués (IIASA). Établis à partir de ces estimations, des scénarios de la situation jusqu'en 2030 donnent des comparaisons entre les plans actuels de réduction des émissions et les réductions maximales techniquement possibles et présentent une méthode d'optimisation des coûts. Ces comparaisons montrent que les émissions d'oxydes d'azote et d'ammoniac pourraient être encore considérablement réduites et militent en faveur d'une révision du Protocole de Göteborg [24.6]. Bien qu'elles n'aient pas été évaluées ici, des indications préliminaires montrent que le coût des mesures de réduction des émissions de NH_3 (€ par kg d'azote réactif) serait moins élevé qu'on ne le pensait et fait actuellement l'objet d'études⁵.

57. Les scénarios du futur à long terme prévoient la possibilité de baisses considérables des émissions d'oxydes d'azote (de 75 % ou plus entre 2000 et 2100) grâce au progrès de la technologie et, d'après les projections données dans certains scénarios, à une diminution de la consommation d'énergie (fig. 9). Les tendances prévues pour le NH_3 et le N_2O sont en revanche beaucoup plus floues. Un scénario prévoyant un développement incontrôlé et des émissions élevées de CO_2 (forçage radiatif de $+8,5 W/m^2$) donne une augmentation des émissions d'ammoniac, ce qui n'est pas le cas des scénarios les plus optimistes (forçage radiatif de $+2,6$ et $+4,5 W/m^2$). Toutefois, même ces scénarios donnent des perspectives à long terme selon lesquelles le NH_3 devient rapidement la première forme d'azote réactif émis dans l'atmosphère et un enjeu majeur du point de vue des politiques de contrôle des émissions [24.6].

58. Les perspectives à long terme présentées dans les scénarios sur l'utilisation et les émissions d'azote réactif doivent également prendre en compte la place que pourraient occuper à l'avenir les énergies renouvelables. Des possibilités de synergies importantes sont offertes par l'accroissement du couvert forestier où le principal apport d'azote réactif résulte de dépôts d'origine atmosphérique entraînant le lessivage de polluants atmosphériques et contribuant au piégeage du carbone [9.4, 19.4]. Par contraste, l'utilisation accrue d'engrais azotés pour des cultures de production de bioénergie et de biocombustible à gestion intensive pourrait impliquer des compromis importants exigeant

⁵ Options envisageables pour réviser le Protocole de Göteborg de 1999 relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique: azote réactif (ECE/EB.AIR/WG.5/2010/13).

que les déperditions supplémentaires de N₂O, d'autres formes d'azote réactif et de N₂ soient compensées par une baisse des émissions de CO₂ (par. 22) [2.4, 24.5].

VIII. Possibilités d'approches intégrées de la gestion de l'azote

A. Pour une gestion globale de la cascade de l'azote

59. Étant donné la diversité des effets en cascade de l'azote sur l'environnement, les mesures d'atténuation à privilégier sont celles qui permettraient de réduire simultanément toutes les émissions de polluants azotés provenant de toutes les sources et dans tous les milieux environnementaux.

60. Une approche intégrée de la gestion de l'azote réactif promet de réduire les risques d'incohérence, d'inefficacité et de remplacement d'une pollution par une autre. Les mesures prises en faveur d'une telle intégration devraient tenir compte du degré de succès des politiques (par. 23 à 26) destinées à garantir un juste équilibre entre les mesures d'atténuation concernant les différents secteurs. L'intégration exige de la part des scientifiques, des responsables politiques et des différentes parties prenantes de gros efforts d'interdisciplinarité et de consensus [4.6, 23.4].

61. L'adoption de politiques intégrées se justifie aussi à l'intérieur d'un même secteur, l'agriculture par exemple, en raison du nombre élevé d'acteurs concernés et des relations entre les sources, les secteurs et les effets [23.4]. La politique agricole commune de l'UE offre de puissantes incitations à l'amélioration de la viabilité de la production agricole.

B. Sept actions clefs pour une meilleure gestion de la cascade de l'azote

62. Sept actions clefs menées dans quatre secteurs pourraient favoriser la mise au point d'approches intégrées de la gestion de l'azote [23.5].

Agriculture

1. *Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote dans la production végétale.* Il s'agit entre autres d'améliorer les méthodes de gestion des sols, le potentiel génétique et les rendements par apport d'azote réactif avec la possibilité de réduire les pertes par unité de produit et, par là, les risques de remplacement d'une pollution par une autre [3.3, 22.6, 23.5].

2. *Améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'azote dans la production animale.* Comme dans le cas de la production végétale, il s'agit d'améliorer les techniques de gestion et le potentiel génétique et surtout d'améliorer l'efficacité alimentaire et de réduire les coûts de maintenance, de manière à limiter les pertes par unité de produit et les risques de remplacement d'une pollution par une autre [3.4, 10.3, 23.5].

3. *Améliorer l'équivalent engrais azoté du fumier.* Il faut pour cela conserver l'azote réactif dans le fumier lors du stockage et de l'épandage (en particulier réduire les émissions d'ammoniac où sont perdues de grandes quantités d'azote réactif) tout en optimisant le rythme et le moment des épandages selon le type de culture [3.4, 10.3, 23.5].

Transports et industrie

4. *Systèmes de combustion à faibles émissions et systèmes économes en énergie.* Il s'agit entre autres d'améliorer les techniques applicables aux sources fixes de combustion et aux véhicules, d'accroître l'efficacité énergétique et l'utilisation de sources d'énergie alternatives à faibles émissions, sur la base des approches actuellement envisagées [4.5, 23.5, 24.6].

Traitement des eaux usées

5. *Recyclage de l'azote (et du phosphore) des systèmes de traitement des eaux usées.* En Europe, les activités actuelles de traitement des eaux pour la production d'azote réactif sont axées sur la dénitrification qui retourne l'azote à l'atmosphère sous sa forme moléculaire N₂. Si elle a donné d'assez bons résultats [4.6], cette méthode représente un gaspillage de l'énergie utilisée pour la production d'azote réactif (par. 22). Un objectif plus ambitieux à long terme devrait être le recyclage de l'azote réactif contenu dans les eaux usées à l'aide des nouvelles techniques de traitement disponibles [12.3, 23.5].

Les modes de consommation dans la société

6. *Réaliser des économies d'énergie et limiter les transports.* Si les mesures techniques qui ont été prises pour réduire les émissions d'oxydes d'azote par unité de consommation ont donné de bons résultats, les kilomètres parcourus par des véhicules à moteur et la consommation d'énergie n'ont cessé d'augmenter au cours des dernières décennies. Des actions propres à détourner les gens des véhicules polluants et des vacances lointaines et à encourager la construction de logements et l'adoption de modes de vie économes en énergie pourraient contribuer sensiblement à la baisse des émissions d'oxydes d'azote [23.5].

7. *Réduire la consommation de protéines animales.* La consommation de protéines animales en Europe se situe dans de nombreuses régions au-dessus du seuil recommandé par habitant. Ramener la part des produits d'origine animale aux niveaux recommandés dans le régime alimentaire et préconiser la consommation de produits constituant de meilleures sources d'azote efficace permettraient de réduire les émissions d'azote réactif et d'obtenir des bénéfices connexes pour la santé [23.5, 24.5, 26.3].

63. L'action clef n° 4 repose sur des mesures techniques déjà associées à des politiques publiques d'économies d'énergie et de transports moins polluants (action clef n° 6) s'inscrivant dans les politiques relatives à l'azote réactif, à la pollution de l'air et au climat (voir la figure 9). De même, chaque action clef dans le domaine de la chaîne alimentaire (1-3, 7) génère des avantages au niveau de l'atténuation des changements climatiques et de la gestion d'autres nutriments, dont le phosphore. Étant donné que les mesures prises pour réduire les émissions d'azote réactif provenant de l'agriculture n'ont eu jusqu'ici que des succès limités, des efforts plus importants devraient être faits pour relier entre elles les actions clefs, ce qui permettrait à la fois de tirer des enseignements utiles des succès remportés et de réserver un traitement équitable aux différents secteurs concernés.

IX. Les défis à relever au niveau de la société et des politiques

A. L'azote dans les accords multilatéraux sur l'environnement et la recherche future

64. Les traités internationaux, comme les accords multilatéraux sur l'environnement, ont beaucoup fait pour la protection de l'environnement, favorisant des actions des pouvoirs publics dans de nombreux domaines, mais aucun ne définit de politique d'ensemble applicable à la gestion de l'azote [4.3, 25.2].

65. Un nouveau traité international ouvertement axé sur l'azote aiderait à présenter une perspective d'ensemble des différents éléments du problème de l'azote. Une convention nouvelle supposerait des négociations complexes et pourrait concurrencer des structures existantes mais un protocole commun à plusieurs conventions pourrait en revanche être efficace [25.3, 25.4].

66. De nouveaux mécanismes de coordination concernant la gestion de l'azote devraient être établis entre les accords multilatéraux sur l'environnement, dont le Partenariat mondial sur la gestion des nutriments animé par le PNUE, et l'Équipe spéciale de l'azote réactif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, et les liens avec d'autres conventions de la CEE devraient être développés. Le Comité des politiques de l'environnement de la CEE pourrait établir des liens entre les conventions de la CEE au sujet de la gestion de l'azote, cependant que l'UE et ses États membres ont un rôle important à jouer en matière d'harmonisation et de coordination [25.4].

67. Ce travail de coordination devra être mené avec le soutien de la communauté scientifique, compte tenu en particulier des nombreuses incertitudes inhérentes à la définition d'une vision à long terme s'inscrivant dans une approche globalisante. Les chercheurs devraient faire de plus gros efforts pour quantifier les liens entre les disciplines, les milieux et les questions environnementales concernés par le problème de l'azote, et fournir des données et des modèles pouvant servir de base aux négociations et aux politiques futures.

B. Les choix de la société, la sensibilisation du public et l'évolution des comportements

68. La société européenne est confrontée à des choix cruciaux qui engagent sa sécurité alimentaire et énergétique et sa réaction aux menaces qui se dessinent pour l'environnement, notamment les changements climatiques, la qualité de l'eau, des sols et de l'air et la perte de biodiversité. Toutes ces questions sont inextricablement liées au cycle de l'azote et s'inscrivent dans un contexte mondial très marqué et les décisions des Européens en matière de modes de vie et de régime alimentaire auront un rôle important à jouer [26.3].

69. En Europe, différents scénarios et modèles donnent à penser que les émissions d'oxydes d'azote devraient accuser une baisse sensible, de 75 %, mais les perspectives sont plus incertaines pour ce qui concerne les émissions de NH₃ et de N₂O (fig. 9) [24.6]. Les obstacles qui ont empêché jusqu'ici de réduire davantage les émissions d'azote réactif provenant de l'agriculture sont entre autres le nombre élevé des parties prenantes, un système ouvert de production agricole avec des pertes diffuses, la volonté de maintenir des rendements élevés pour l'agroéconomie et la sécurité alimentaire européennes et peut-être la difficulté de déterminer comment imputer les coûts aux consommateurs (par. 25). Dans ces conditions, les changements qu'il conviendra d'apporter aux pratiques agricoles pour réduire sensiblement les émissions d'azote réactif en Europe au cours des décennies à venir

exigeront toute l'attention et le soutien plein et entier des responsables politiques, de l'industrie, des exploitants agricoles, des détaillants et des consommateurs [23.3, 26.3].

70. La comparaison entre les émissions d'azote issues de la combustion et de l'agriculture montre que le public doit être mobilisé. Il devra être informé des responsabilités de chacun tout au long de la chaîne d'approvisionnement en produits alimentaires, converti à l'idée d'imputer aux usagers le coût des mesures d'atténuation et convaincu qu'il est amplement justifié d'agir en raison du prix élevé à payer pour l'environnement [4.5, 23.5, 26.3].

71. À l'heure actuelle, le public et les institutions n'ont pratiquement aucune conscience du problème mondial de l'azote. Par comparaison avec le carbone et les changements climatiques, on constate que le problème de l'azote a des facettes multiples qui touchent à tous les aspects des changements mondiaux. Cette complexité ne va pas dans le sens d'une sensibilisation plus large du public qu'il conviendra de toucher par des messages faciles à comprendre et suffisamment forts [5.4, 26.4].

72. Ces messages consisteront entre autres à mettre en parallèle les bénéfices considérables de l'azote pour la société et les menaces qu'il fait peser sur l'environnement et à démontrer la nécessité d'envisager la question en termes d'empreintes, par exemple de calculer les «empreintes alimentaires de l'azote». Peut-être le message le plus parlant consistera-t-il à convaincre le public que veiller à ne pas dépasser les apports alimentaires recommandés de produits d'origine animale est bon pour la santé mais aussi pour l'environnement [23.5, 24.5, 26.3].

Figure 1
Tendance estimative des apports d'azote réactif d'origine anthropique dans l'Union européenne (UE-27) [5.1]
 (1 Tg égale 1 million de tonnes)

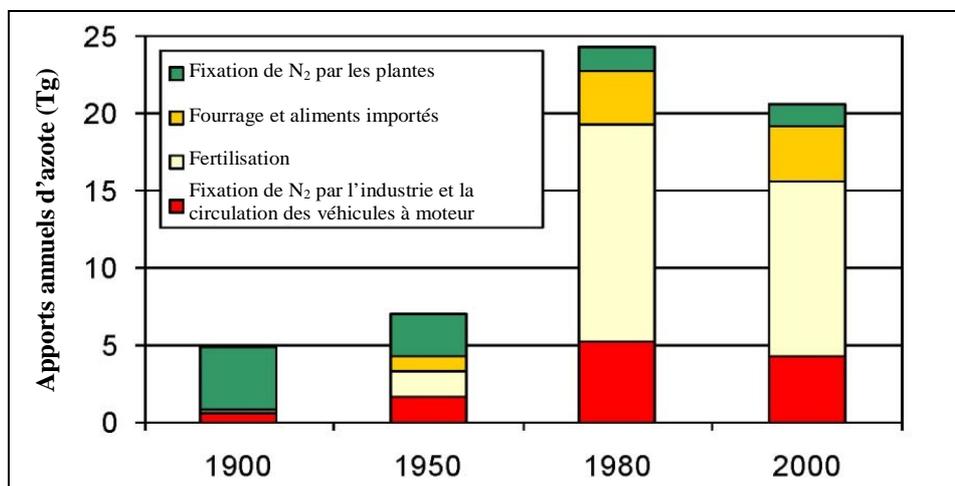


Figure 2
Schéma simplifié de la cascade de l'azote, mettant en évidence la capture de diazote atmosphérique (N₂) pour la formation d'azote réactif (N_r) selon le procédé Haber-Bosch – principale source d'azote réactif en Europe. Les principales formes polluantes d'azote réactif (cases oranges) et cinq problèmes environnementaux (cases bleues) sont présentés ici. Les flèches bleues représentent les flux intentionnels d'azote réactif anthropique; toutes les autres flèches représentent les flux non intentionnels [1.2]. Pour une description plus complète comprenant les autres sources d'azote réactif, voir la section [5.2].

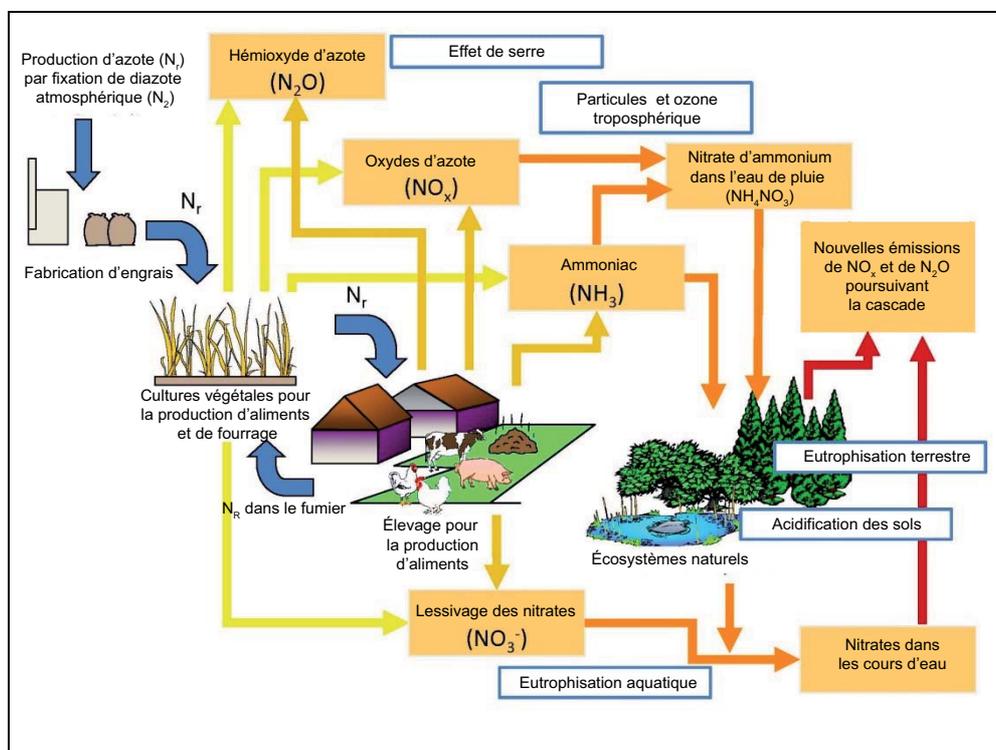


Figure 3

Comparaison simplifiée du cycle de l'azote en Europe (UE-27) entre 1900 et 2000. Les flèches bleues représentent les flux intentionnels d'azote anthropique; les flèches oranges représentent les flux non intentionnels; les flèches vertes représentent le cycle pratiquement fermé de l'azote des systèmes terrestres naturels [16.4 et 16 informations complémentaires].

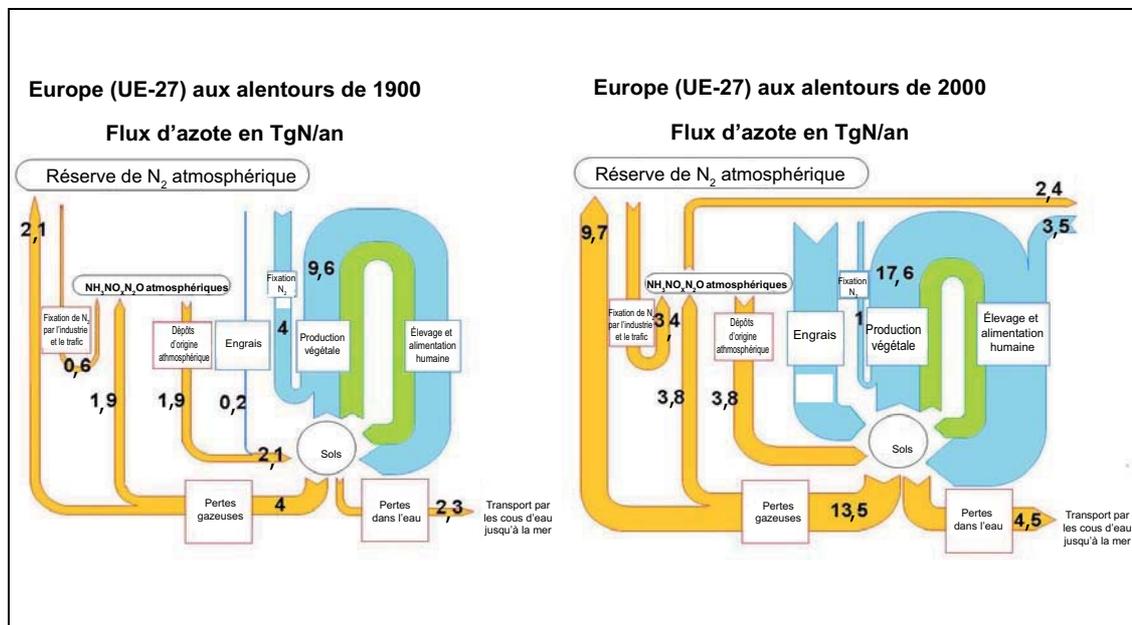


Figure 4

Tendances estimatives des émissions d'azote réactif en Europe entre 1900 et 2000 (UE-27) [5.1]

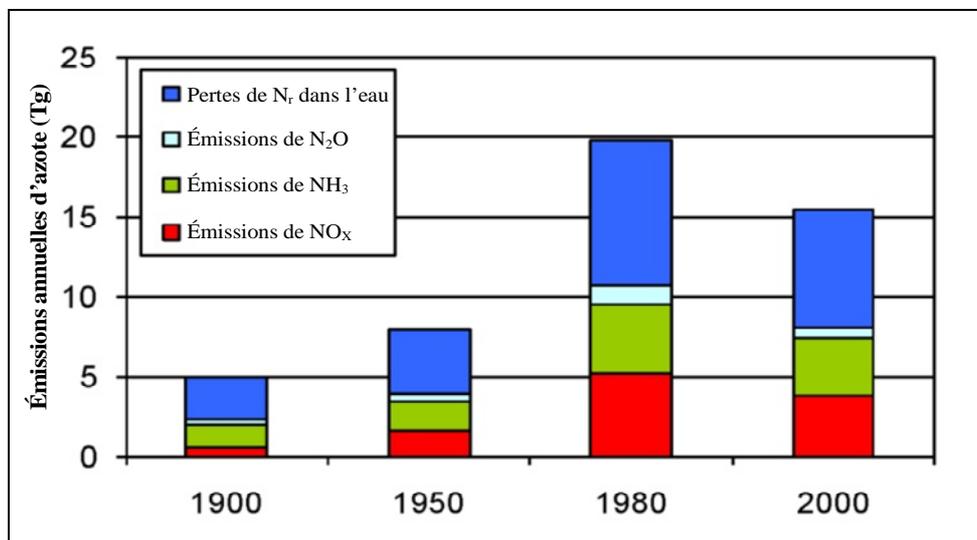
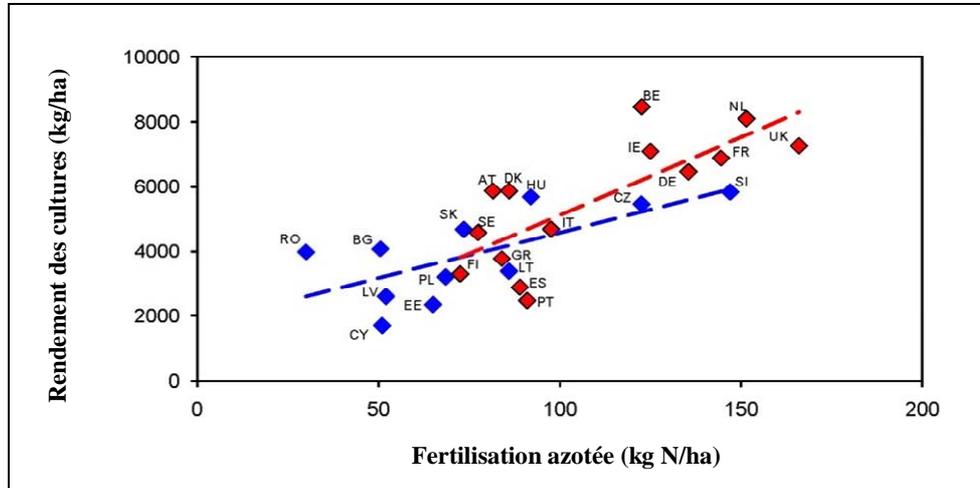


Figure 5

Variations de l'utilisation d'engrais azotés pour la culture de blé d'hiver dans l'Union européenne (EU-15: rouge, UE-12: bleu) aux alentours de l'année 2000. Ces variations montrent qu'il est possible d'améliorer les performances et de réduire les effets sur l'environnement [3.2].



Note: AT = Autriche; BE = Belgique; BG = Bulgarie; CY = Chypre; CZ = République tchèque; DE = Allemagne; DK = Danemark; EE = Estonie; ES = Espagne; FI = Finlande; FR = France; GR = Grèce; HU = Hongrie; IE = Irlande; IT = Italie; LT = Lituanie; LV = Lettonie; NL = Pays-Bas; PL = Pologne; PT = Portugal; RO = Roumanie; SE = Suède; SI = Slovénie; SK = Slovaquie; et UK = Royaume-Uni.

Figure 6

Spectre de l'efficacité du captage de l'azote réactif dans la production animale en Europe (kg N poids de viande nette par kg N en fourrage) [3.4, 10.4, 26.3], voir aussi les informations complémentaires pour le chapitre 3. Une plus grande efficacité est le signe d'une empreinte azote plus réduite. Compte tenu de l'ensemble de la chaîne, depuis la fertilisation jusqu'à la présence de N_r dans les produits comestibles, l'efficacité globale de l'utilisation d'azote dans la production animale dans l'UE-27 se situe entre 15 et 17 % [3, 10, informations complémentaires]. Si le captage d'azote réactif est en général plus élevé dans les systèmes d'exploitation intensive, les pertes à l'hectare y sont également plus importantes, sauf si des mesures sont prises pour réduire les émissions [10.4].

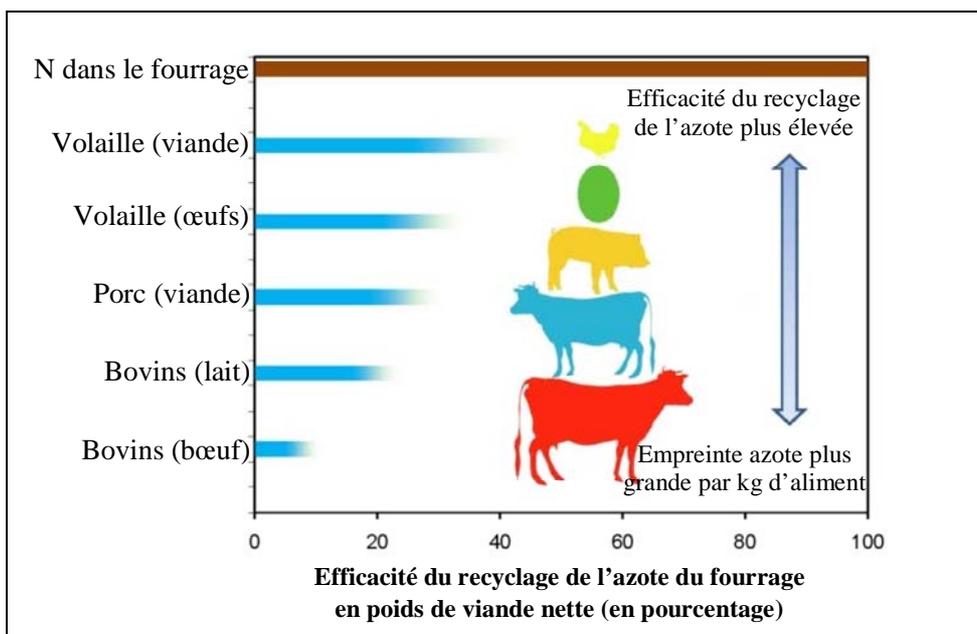


Figure 7
Résumé des cinq grandes menaces que représente l'excès d'azote réactif, par analogie aux éléments de la cosmologie de la Grèce classique. Les principales formes chimiques associées à chaque menace sont indiquées [5.4]. Photo: Shutterstock.com et garysmithphotography.co.uk.

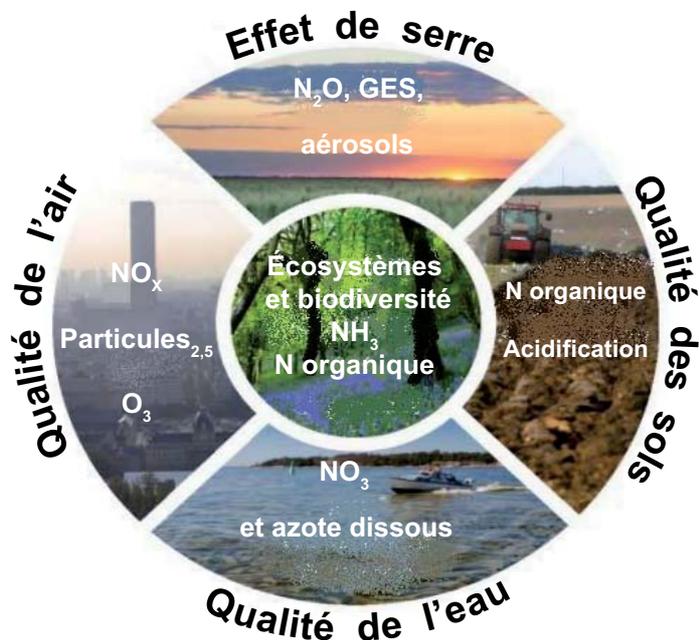


Figure 8
Coûts environnementaux estimatifs dus aux émissions d'azote réactif dans l'air et dans l'eau dans l'UE-27 [22.6]

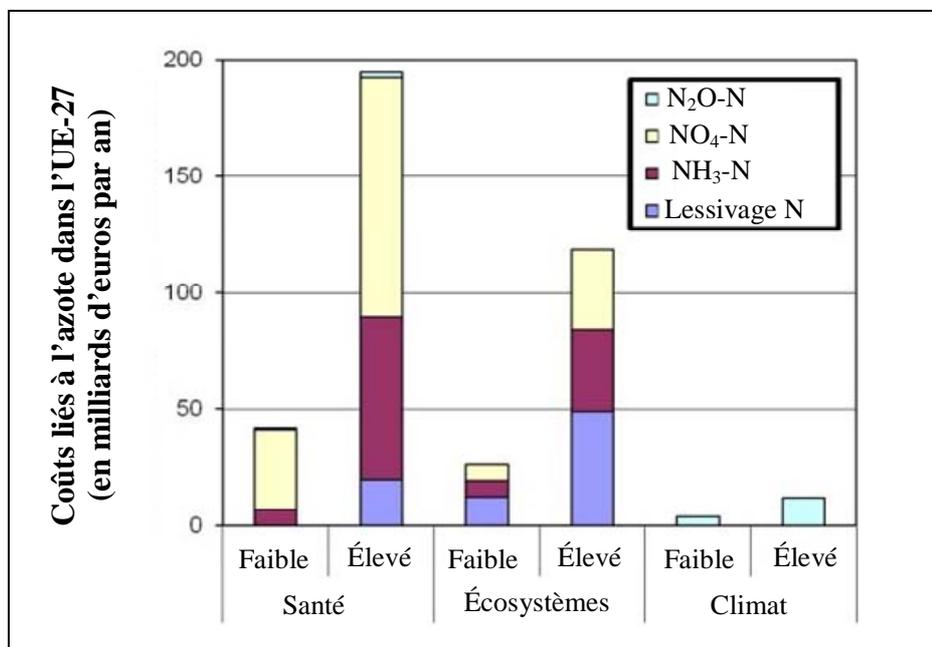


Figure 9

Scénarios des émissions d'azote dans l'UE-27 d'après les voies de concentration représentatives (PCR) pour trois schémas différents de forçage radiatif.

Les désignations des schémas correspondent à un forçage radiatif, en 2100, se situant entre 2,6 (R26), 4,5 (R45) et 8,5 (R85) W par m² [24,6].

