COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Études & documents

Les coûts écologiques non payés relatifs aux émissions dans l'air

n° 105
mai
2014

ENVIRONNEMENT

OBSERVATION ET STATISTIQUES

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Service de l'observation et des statistiques

www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

Les coûts écologiques non payés relatifs aux émissions dans l'air

Remerciements

Ce document a bénéficié de l'avis des membres du groupe de travail dédié à l'estimation des coûts écologiques non payés :

Jean-Pierre Berthier (Insee), Elen Curri-Lemaitre (Medde/Seeidd), Christine Lagarenne (Medde/Seeidd), Michel David (Medde/SOeS), Jeremy Devaux (Medde/Seeidd), Pierre Greffet (Medde/SOeS), Marie-Elizabeth Hassan (Insee), Guillaume Mordant (Medde/SOeS), Sylvain Moreau (Medde/SOeS), Doris Nicklaus (Medde/Seeidd), Françoise Nirascou (Medde/SOeS), Philippe Puydarrieux (Medde/Seeidd), André Vanoli (Association de comptabilité nationale).

La troisième partie du document a bénéficié de la relecture et des avis de Aurélie Le Moullec (Medde/SOeS), et de Simone Schucht de l'Ineris qui a également apporté quelques résultats de simulation provenant du modèle Gains et quelques compléments sur la version française de ce modèle (Gains-France).

Directeur de la publication : Sylvain Moreau

Rédactrice en chef : Anne Bottin

Auteur : Frédéric Nauroy

Coordination éditoriale : Corinne Boitard

Traducteur : Geoffrey Bird

Maquette-réalisation : Chromatiques Éditions

Sommaire

Avant-propos 4

Synthèse 5

Les coûts écologiques non payés : vers de nouveaux indicateurs économiques de développement durable 15

Aller au-delà du PIB 15

Les agrégats comptables ajustés 16

Comptabiliser les coûts écologiques non payés 17

Les coûts écologiques non payés liés au changement climatique 21

Contexte 21

Résultats et données utilisés 22

Définition des trajectoires associées aux émissions de GES 23

Coût unitaire à appliquer aux émissions à éliminer 25

Évaluation des coûts écologiques non payés 26

Synthèse des résultats 27

Limites, perspectives 28

Les coûts écologiques non payés liés à la pollution de l'air 29

Introduction : objectifs 29

Quelle norme adopter pour la mesure de CENP ? 29

Vers des objectifs de réduction d'émission plus ambitieux et des coûts réévalués 31

Coûts écologiques non payés en 2010 34

Limites, développements 34

Bibliographie 35

Glossaire 36

Avant-propos

La conférence de Rio + 20 de 2012 a mis en exergue la nécessité de développer de nouveaux indicateurs allant au-delà du Produit intérieur brut (PIB). Cette préoccupation n'est pas nouvelle et a donné lieu au cours des deux dernières décennies à des travaux foisonnants visant à dépasser les limites du PIB et obtenir des mesures plus larges du progrès ou du bien-être. Si des propositions concrètes, parfois suivies d'effet, ont été avancées, le consensus n'existe pas encore pour définir le contenu de tels indicateurs et les méthodes pour les élaborer.

Différentes voies sont empruntées. Celle représentée par la comptabilité économique environnementale prend appui sur un système de comptes qui a fait ses preuves depuis sa mise en place après la Seconde Guerre mondiale. Le développement de systèmes de comptes économiques élargis à l'environnement a été poussé depuis plus de vingt ans aussi bien par l'Organisation des Nations unies que par la Banque mondiale.

La démarche des coûts écologiques non payés (CENP) s'inscrit pleinement dans ce corpus et représente une piste intéressante à suivre dans les années à venir. Il s'agit d'évaluer les coûts de maintien et de restauration du capital naturel qui dépassent les montants actuellement engagés à cette fin. En effet, si les dépenses de protection de l'environnement se sont considérablement accrues au cours des dix dernières années, elles ne permettent toutefois pas d'aboutir au maintien ou à une restauration complète du patrimoine naturel. Ainsi, les émissions dans l'air contribuent à perturber les équilibres climatiques et occasionnent des dommages importants à la santé humaine et aux écosystèmes.

Cette démarche, encore expérimentale, n'est pas encore parvenue à un stade permettant la déclinaison de comptes complets renouvelables chaque année. Les travaux qui ont été menés au Commissariat général du développement durable (CGDD) permettent néanmoins d'évaluer un montant de CENP pour la France en relation avec une problématique précise : contribution au maintien des équilibres climatiques, réduction des impacts de la pollution atmosphérique, rétablissement de la qualité des masses d'eau continentales. Seuls les deux premiers aspects seront abordés dans ce document.

Un groupe de travail a été constitué au printemps 2012 afin de définir des méthodes d'estimation pratique des montants de CENP afférents à différents milieux naturels ou problématiques en France. Ce groupe de travail conduit par le Service de l'observation et des statistiques (SOeS) du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (Medde) comprend des personnes du Medde (SOeS et Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable), de l'Institut national de la statistique et des études économiques et André Vanoli, président de l'Association de comptabilité nationale et initiateur de la démarche sur les CENP.

Synthèse

Contexte

Les recherches entreprises depuis plusieurs décennies dans le domaine de la comptabilité économique environnementale n'ont pu converger sur un consensus débouchant sur la construction et surtout l'adoption d'un nouvel indicateur d'une production ou d'une épargne nationale durable. Les coûts écologiques non payés (CENP) constituent une approche de comptabilité économique environnementale permettant de retracer les plus importantes relations entre l'économie et la nature.

Les CENP reflètent les montants qui auraient dû être supportés par les agents économiques en vue de prévenir la dégradation de différents actifs naturels (air, climat, masses d'eau, sols, biodiversité...) ou de restaurer leur état. Ces coûts non payés, une fois estimés, donneraient lieu à de nouvelles mesures pour certains agrégats de la comptabilité nationale (grandeurs telles que la consommation finale ou l'épargne) et à l'introduction d'un agrégat nouveau, la dette écologique. La comparaison entre les agrégats actuels et les agrégats ajustés permettrait d'évaluer à l'intérieur d'une comptabilité élargie le poids des charges non assumées résultant des pressions du mode de développement actuel sur la nature.

Une évaluation de la dette écologique et une nouvelle mesure de la demande finale

L'approche[1] vise à mesurer le coût total de la demande finale résidente, agrégat qui totalise les dépenses nationales de consommation finale et d'investissement. On considère en effet que la valeur de la demande finale est sous-évaluée dans les comptes nationaux actuels car elle laisse de côté le coût lié à la dégradation des actifs naturels. En l'absence de mesures suffisantes pour freiner les pressions sur la nature, la valeur des biens et services acquis par les consommateurs, généralement au prix de marché, ne tient pas compte de la dégradation, pour une année donnée, de certains actifs naturels. Cette valeur, non enregistrée dans les comptes nationaux actuels, est évaluée aux coûts de maintien ou de restauration des actifs naturels.

Concrètement, il s'agit d'évaluer les coûts écologiques non payés sur la base de mesures efficientes (objectifs écologiques atteints au moindre coût) prenant la forme d'investissements dans des technologies sobres en carbone ou entraînant l'accroissement du coût de production ou d'acquisition de certains produits. Ainsi, la volonté de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) peut passer par la détermination d'un prix du carbone favorisant l'accroissement de certains prix, la modification de la structure de la production et de la demande et l'essor de certaines technologies faiblement émettrices.

Dans le cadre d'une comptabilité nationale élargie, le montant estimé de CENP s'ajouterait à la demande finale telle que mesurée actuellement dans les comptes nationaux actuels et un transfert en capital du même montant serait porté au niveau des ressources de l'économie. De tels comptes seraient équilibrés et en cohérence avec le système de comptes nationaux actuel. Ce schéma constitue ainsi une proposition pour élargir - sans le bouleverser - le cadre actuel des comptes nationaux.

En fonction des problématiques existantes ou des milieux naturels, on peut s'intéresser aux dégradations affectant les actifs naturels domestiques comme l'air, les eaux continentales ou les sols en France, mais aussi ceux présents à l'étranger ou ayant une nature globale (planétaire). En économie fermée ou peu ouverte sur l'extérieur, l'intérêt sera porté aux actifs naturels domestiques. En économie ouverte, il est nécessaire de prendre en compte les dégradations causées à l'étranger en vue de satisfaire la demande finale de la France. Cela exige de réunir de nombreuses informations, notamment sur les pressions environnementales (émissions de polluants, déchets) attribuables aux importations françaises et sur les coûts qui auraient permis de les éviter. Ces données étant difficiles à collecter pour l'ensemble des partenaires économiques de la France, les estimations qui seront proposées dans ce dossier se limiteront aux impacts domestiques, i.e. l'estimation des CENP permettant d'éviter ou de remédier à des dégradations sur le territoire national. Le changement climatique relève, lui, d'une problématique globale (planétaire). Un excès d'émissions de GES entraîne des dégradations (perturbations des équilibres climatiques) qui ne se manifestent pas à l'endroit même où s'exercent les pressions.

Avant de parvenir à la mise en place d'une comptabilité détaillée reposant sur des actualisations régulières, l'ambition se limite pour l'instant à deux types d'évaluation : **le montant de la dette écologique et l'estimation de CENP au cours d'une année donnée**. La première notion est une mesure de stock alors que la seconde est une mesure de flux. Les évaluations proposées dans ce document restent partielles car elles ne couvrent pas l'ensemble du patrimoine naturel.

La dette écologique vise à rendre compte de la totalisation des CENP annuels accumulés depuis le moment à partir duquel les capacités d'absorption des pressions par la nature ont été dépassées. Cela correspond au montant de dépenses qu'il faudrait effectuer afin de revenir à un état de référence passé sans pression excessive sur la nature. Comme les CENP n'ont pas été comptabilisés régulièrement au cours du passé, l'évaluation de la dette écologique passe ipso facto par le calcul du montant total de coûts qu'il serait aujourd'hui nécessaire de mettre en œuvre à travers un programme pluriannuel pour rétablir les capacités de régénération de la nature. Les seuils de résilience écologique (niveau de pression que la nature est capable d'absorber) n'étant pas systématiquement connus, il est souvent fait appel aux normes ou aux objectifs fixés par les autorités politiques. Même si de tels objectifs sont à atteindre à un horizon futur donné, il s'agit en fait d'un état de référence du passé que l'on cherche à rétablir. Sa datation précise n'est pas toujours possible. Les normes et objectifs peuvent avaliser un certain degré de dégradation de la nature, en particulier si les coûts d'une restauration complète paraissent exorbitants. L'évaluation du montant de la dette écologique dépend donc étroitement des normes ou des objectifs écologiques retenus. Elle peut donc donner lieu à réévaluation si ces normes ou objectifs sont modifiés. Le choix d'une ou d'un ensemble de normes pour l'estimation de la dette écologique n'est pas toujours simple, notamment en matière de pollution atmosphérique.

Dans cette approche, la dette écologique est conçue comme une dette envers la nature. Ce n'est évidemment pas une dette contractuelle comme la dette de l'État qui en rembourse une partie chaque année (en plus des intérêts) à ses créditeurs. La dette écologique doit donc être comprise comme un concept comptable, dont l'évaluation sur différents domaines pourrait concourir à la préparation de politiques ou trajectoires de développement durable.

[1] *Approche développée par A. Vanoli, président de l'Association de comptabilité nationale, dans un article paru en 1995 qui propose une description et un traitement comptable des relations entre l'économie et la nature, considérée comme une entité à part entière. Dans un écrit récent (2012), il formule et explicite le concept de demande finale aux coûts totaux.*

Une fois estimé le montant de la dette écologique à une date donnée, celui-ci peut varier à la hausse si de nouveaux CENP apparaissent. La dette écologique se réduit si des mesures coûteuses sont internalisées par l'économie ayant pour effet de diminuer les pressions sur la nature et de restaurer partiellement son état.

La mesure de CENP pour une année donnée se base sur la variation de l'état des actifs naturels d'une année sur l'autre en fonction du niveau de pression causée par les activités économiques (quantité annuelle d'émission entraînant un surcroît de concentration dans l'air ou de contamination des sols et des masses d'eau par certaines substances). Le coût qui aurait permis d'éviter cette dégradation annuelle forme un supplément de CENP qui contribue à l'accroissement de la dette écologique.

Les CENP annuels s'ajoutent à la demande finale des comptes nationaux. Il en résulte un nouvel agrégat appelé « demande finale aux coûts totaux ». En présence de CENP une année donnée, la valeur de la demande finale aux coûts totaux est plus élevée que celle mesurée aux coûts payés (comptes nationaux actuels). Comme la production et les revenus de l'économie nationale restent ici inchangés par rapport aux comptes nationaux actuels, l'épargne nationale est réduite du montant annuel des CENP. Si les pressions sur la nature ne se sont pas accrues au cours d'une année, les CENP sont nuls. Ils sont négatifs dans le cas de moindres pressions et de restaurations partielles de certains milieux naturels (mise en place de traitements s'appliquant à des étendues d'eau par exemple).

Tout l'enjeu consiste à évaluer la partie violette du graphique (montant des CENP) pour connaître approximativement sa dimension en regard de grandeurs connues comme le PIB ou la consommation finale. Pour cela, il faudrait disposer d'une évaluation des CENP sur la totalité des actifs naturels, ce que l'on n'est pas en mesure de réaliser aujourd'hui.

Dans ce numéro d'*Études & documents*, une évaluation de coûts écologiques non payés a été réalisée à propos de la question du changement climatique en se basant sur le contexte et les objectifs de la France et une seconde porte sur la pollution atmosphérique.

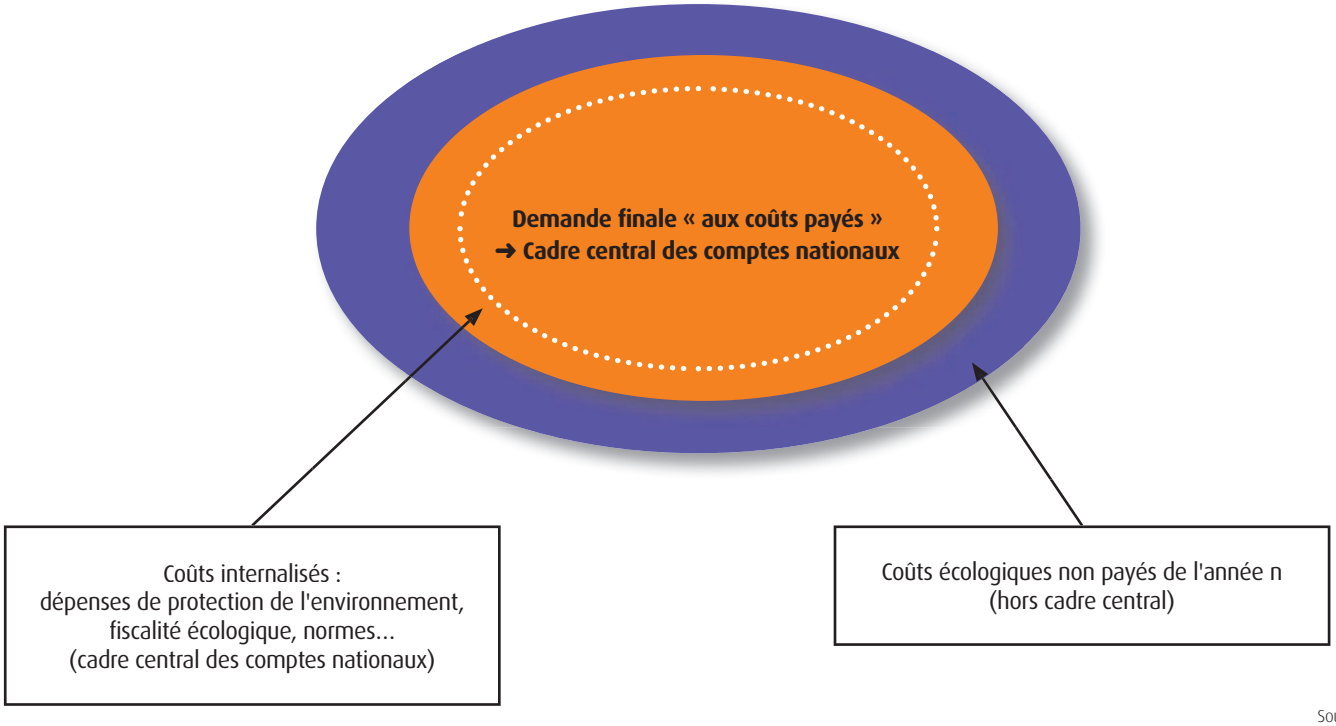
Coûts écologiques non payés liés au changement climatique

La préservation des équilibres climatiques est une problématique planétaire qui ne peut être déclinée localement avec la mise en œuvre de seuils ou d'objectifs écologiques visant à restaurer ou à conserver l'état d'actifs naturels sur un territoire donné. Au plan mondial, le moyen qui est retenu pour parvenir à un réchauffement planétaire moyen limité à deux degrés consiste en une division par deux des émissions de GES entre 1990 et 2050 (avec une inflexion à la baisse à partir de 2020).

Même si cela représente une contribution très partielle au maintien des équilibres climatiques eu égard à la faible part des émissions françaises dans le total mondial, on se réfèrera à l'objectif que la France s'est fixé (loi Pope de 2005) en termes de réduction de ses émissions de GES. Cet objectif appelé « facteur 4 » prévoit une division par 4 du niveau annuel d'émission de GES entre 1990 et 2050. Cet objectif doit être ensuite précisé par la définition d'une trajectoire basée sur un rythme de baisse annuelle des émissions.

Pour estimer le montant de la dette écologique, on s'appuiera sur des travaux qui ont évalué le coût total qu'il serait nécessaire de mettre en œuvre pour parvenir au « facteur 4 ». Il s'agit des travaux de la Commission Quinet (2008) sur la « valeur tutélaire du carbone » et le rapport du comité de Perthuis « Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone » (2011). Ce dernier rapport fournit des indications sur le coût global à payer pour parvenir à l'objectif facteur 4 en se basant sur trois trajectoires différentes entre 2012 et 2050. Le cumul des coûts totaux annuels sur la période se situe entre 260 à 440 milliards d'euros. Ces évaluations ne prennent toutefois pas en compte une certaine baisse d'émission de GES, prévisible même sans l'application de mesures supplémentaires. En effet, les mesures mises en œuvre au cours des dernières années en vue de réduire les émissions devraient continuer à produire leur effet au cours des années à venir. Les estimations mentionnées plus haut ont été réalisées avec l'hypothèse implicite d'une stabilité des émissions de GES sur la période si les conditions

Représentation de la demande finale aux coûts totaux



Source : SOeS

actuelles étaient maintenues (sans renforcement de coûts). C'est sur cette base et donc avec une certaine prudence, que ces montants peuvent être rapprochés de la notion de dette écologique. Plutôt que de chercher à préciser le montant de la dette écologique relative aux émissions de GES à réduire, l'accent sera porté sur la survenue (éventuelle) de CENP annuels, contribuant à accroître le niveau de dette écologique. En revanche, en présence d'une réduction importante d'émission, les CENP sont négatifs et la dette écologique diminue. Trois cas peuvent être envisagés :

– des hausses d'émission annuelles de GES entraînant de nouveaux CENP et un accroissement de la dette écologique ;

– une baisse régulière d'émission conforme à l'atteinte du facteur 4 en 2050 : en lieu et place de CENP apparaissent de nouveaux coûts dans les transactions économiques (taxes environnementales, dépenses de protection, investissements dans des technologies sobres en carbone...) entraînant une résorption progressive de la dette écologique ;

– situation intermédiaire : baisse d'émission, mais insuffisante pour parvenir à l'objectif en temps voulu. Des CENP doivent être considérés si l'on estime impossible tout report de réduction d'émission d'une année sur l'autre au même coût unitaire.

Pour rendre compte de ces trois situations, on s'est appuyé sur le coût marginal de la tonne de carbone évitée. Avec cette information, il est possible de valoriser la quantité d'émission considérée comme excessive par rapport à la trajectoire déterminée en vue de l'objectif. Le rapport « Trajectoires » a proposé une évolution de ce coût marginal selon trois profils menant chacun au facteur 4. Le scénario qui a été retenu ici est le scénario T30 qui prévoit la baisse d'émission la plus forte d'ici à 2020. Sur l'ensemble de la période, le prix du CO_2 progresse régulièrement, de 35 euros la tonne évitée en 2012 à un peu plus de 300 euros en 2050.

Il est nécessaire d'établir une trajectoire précise pour connaître l'effort annuel de réduction d'émission qu'il faut envisager sur la période. Différents types de profils, plus ou moins réguliers, sont produits par les modèles, mais en termes de CENP, un effort annuel constant (baisse d'émission équivalente chaque année) peut être retenu.

La trajectoire qui a été retenue consiste en une baisse du niveau annuel d'émission de GES de 9 millions de tonnes d'équivalents CO_2 par an, les neuf dixièmes portants sur le CO_2. C'est un profil plus simple que celui défini dans le rapport « Trajectoires », ce dernier n'étant pas complètement linéaire.

Des estimations de CENP ont été estimées pour trois années (2010, 2011 et 2012) en se basant sur les émissions annuelles de GES fournies par les inventaires d'émissions du Citepa[2]. Des CENP nouveaux apparaissent lorsque les émissions observées sont supérieures à celles préconisées par la trajectoire « idéale ». Cet écart est valorisé par le coût marginal du CO_2 en début de période (35, puis 36 € par tonne).

Les résultats figurent dans le tableau de synthèse *infra* :

L'année 2010 est marquée par une hausse d'émission de GES et les CENP qui en résultent sont estimés à 560 millions d'euros, ce qui représente 0,03 % du PIB ou de la demande finale nationale.

En 2011, les émissions ont baissé avec une ampleur bien plus forte que celle escomptée (-28 Mt contre -9 Mt). Il n'y a pas de CENP pour cette année. Mais, la forte baisse d'émission, plus importante que celle escomptée, entraîne une diminution de la dette écologique estimée à près d'un milliard d'euros.

Enfin, en 2012, les émissions de GES sont restées stables. On mesure des CENP sur la base des 9 $MtCO_2e$ qui auraient dû être éliminées. Le montant est estimé à 400 M€.

Avec les éléments disponibles, on est en mesure d'estimer un montant de CENP chaque année en fonction des émissions observées, ce qui donne des indications précieuses sur la durabilité de la trajectoire suivie par l'économie. Les estimations doivent toutefois être approfondies ou au moins être appréciées en regard des précisions suivantes :

• La mesure des CENP est basée sur les émissions intérieures. En économie ouverte, il aurait été plus pertinent de les baser sur l'empreinte carbone de la demande finale qui mesure les émissions de GES visant à satisfaire les produits de la consommation finale et des investissements en France (émissions sur le territoire national + émissions liées aux importations – émissions liées aux exportations). Comme les émissions de l'empreinte carbone sont supérieures aux émissions intérieures, on peut considérer les estimations proposées comme des minorants.

• Le lien entre CENP annuels et variation de dette écologique doit être approfondi. Dans le cas du non respect une année donnée de la trajectoire menant au facteur 4, il paraîtrait judicieux de procéder à une nouvelle estimation de la dette écologique sur toute la période restante. Ce calcul serait plus robuste que celui consistant à ajouter les CENP estimés pour l'année écoulée à la dette écologique mesurée en début d'année.

[2] *Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique.*

Synthèse des résultats

Année	Variation annuelle des émissions (en $MtCO_2e$)	Émissions de GES/Trajectoire requise F4	Montant annuel estimé de CENP (en M€)	Sens de variation de la dette écologique
2010	+6	Trop élevées	560	Augmentation
2011	-28	Baisse + forte que trajectoire requise	0	Diminution (-970 M€)
2012	0*	Trop élevées	400	Augmentation

* *Calculs SOeS, d'après estimation préliminaire du Citepa*

• Les montants estimés de CENP mériteraient d'être décomposés selon les composantes de la demande finale (parts prises par la consommation finale et les investissements) et si possible par produits.

Coûts écologiques non payés liés à la pollution de l'air

L'objectif est de mesurer le coût non assumé aujourd'hui qui permettrait de restaurer la qualité de l'air. Dans le cadre des coûts écologiques non payés, cela consiste à mesurer le coût annuel qu'il faudrait supporter au-delà des mesures existantes pour rejoindre des normes écologiques acceptables, mais non respectées aujourd'hui.

Deux questions préalables se posent : le choix des substances affectant la qualité de l'air et le degré de restauration ou de qualité auquel on veut parvenir. Il n'est en effet pas possible sur un plan pratique d'estimer des CENP sur la totalité des émissions dans l'air. Il est par ailleurs admis qu'une restauration complète de l'atmosphère, ne présentant plus le moindre dommage (ou impact) d'origine anthropique, est aujourd'hui hors de portée, les coûts afférents étant exorbitants.

Champ de la pollution atmosphérique retenu ici

L'attention sera portée sur une liste de substances ayant des impacts négatifs à la fois sur la santé humaine et sur les écosystèmes sur le plan de l'acidification, de l'eutrophisation et de la pollution photochimique. Ces substances sont les particules alvéolaires d'un diamètre inférieur à 2,5 µm ($PM_{2,5}$), le dioxyde de souffre (SO_2), les oxydes d'azote (NOx), l'ammoniac (NH_3) et les composés organiques volatils (COV). Certaines d'entre elles (NOx, COV) sont des précurseurs de l'ozone troposphérique, gaz qui présente des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Ces cinq substances sont particulièrement réglementées depuis plusieurs décennies et font l'objet de travaux d'évaluation réguliers, notamment dans le cadre de stratégies élaborées par l'Union européenne (UE).

Quelle norme adopter pour la mesure de CENP ?

Face à la multiplicité des normes et stratégies existantes, il n'est en rien évident de se fixer des valeurs de seuil adaptées à l'estimation de CENP. La situation est rendue encore plus compliquée en raison de la période transitoire actuelle en Europe. Si une suite a été donnée en 2012 au protocole de Göteborg (PG), qui prévoit de nouvelles baisses d'émissions à l'horizon 2020 pour les cinq substances retenues, la situation reste incertaine pour la directive dite « NEC (National Emissions Ceilings) » sur les plafonds nationaux d'émissions (même substances que le PG). La Commission européenne a publié en décembre 2013 une nouvelle stratégie « Programme Air pur pour l'Europe » comportant des objectifs chiffrés d'amélioration de la qualité de l'air et de nouvelles contraintes de réductions d'émissions à l'horizon 2030.

En l'absence de normes claires dans la situation actuelle, il sera fait appel à un scénario de l'Institut international d'analyse des systèmes appliqués (IIASA), basé en Autriche, sur lequel la Commission s'est appuyée pour déterminer les objectifs de la stratégie « Programme Air pur pour l'Europe ». Les réductions d'émissions calculées pour la France, d'après le modèle Gains de l'IIASA, sont en cohérence avec celles inscrites dans une proposition de nouvelle directive sur les plafonds d'émission publiée par le Parlement et le Conseil européens en décembre 2013.

L'IIASA a construit à la fin 2013 un scénario conforme aux objectifs de la nouvelle stratégie européenne. Ce « scénario-objectifs » permet des réductions d'impacts significatives de la pollution atmosphérique avec la mise en œuvre de coûts renforcés. Pour estimer un montant de CENP, les résultats en matière de coûts à l'horizon 2025 doivent être confrontés au montant de coût aujourd'hui supporté par l'économie française afin de déterminer le montant additionnel qui permet d'atteindre les objectifs édictés.

Résultats obtenus

1) Objectifs en matière de santé humaine et de préservation des écosystèmes en 2030

Résultats visés à l'horizon 2030

	Variation 2030/2010 UE (en %)	Variation 2030/2010 France (en %)
Aires d'écosystèmes avec des dépôts d'azote dépassant les charges critiques	-27,7	-39,3
Années de vie perdues liées à l'exposition aux $PM_{2,5}$	-44,5	-44,8
Nombre de décès prématurés dus à l'exposition à l'ozone	-31,3	-31,7

Source : IIASA, calculs SOeS

Les nouveaux objectifs inscrits dans ce scénario vont bien au-delà de ceux de la stratégie thématique européenne de réduction de la pollution atmosphérique (TSAP) adoptée en 2005.

Ils impliquent des niveaux de qualité de l'air (non explicités dans le texte de la nouvelle stratégie) rendant possible de telles réductions d'impact sur la santé et les écosystèmes. La déclinaison de ces objectifs pour la France produirait des améliorations similaires à celles calculées pour l'UE en matière de santé humaine et plus importante en matière de préservation des écosystèmes de l'eutrophisation.

Ce niveau de restauration implique des efforts renforcés en matière de réduction d'émission et de coûts supplémentaires à supporter.

2) Coût à supporter en fonction de la réduction d'émission nécessaire à l'atteinte des objectifs

Les quantités d'émission à atteindre à l'horizon 2030 en regard des objectifs définis dans le tableau *supra* représentent des efforts de réduction nettement plus importants que ceux qui relèvent des textes encore en vigueur et du nouveau protocole de Göteborg. Les coûts afférents sont accrus en conséquence. Le coût annuel total calculé pour la France par le modèle Gains s'élève à 12,5 milliards d'euros en 2025. Ce montant globalise la totalité des coûts permettant de satisfaire les objectifs à l'horizon 2030, que ces coûts soient déjà supportés aujourd'hui ou qu'ils représentent de nouveaux efforts à consentir. Une partie non négligeable de cette somme est en effet aujourd'hui payée (internalisée), notamment après les efforts entrepris au cours des années 2000 qui ont permis de réduire sensiblement les émissions. Pour avoir une idée du « reste à payer », il faut connaître le montant des coûts aujourd'hui supportés par l'économie. Le modèle Gains donne une estimation à 8,1 Md€ du coût supporté en 2010 par la France en vue de réduire ou de contenir les émissions atmosphériques. La différence entre ce montant estimé en 2010 et celui projeté en 2030 en vue de la satisfaction des objectifs d'amélioration de la qualité de

l'air représente un montant de CENP. Cela correspond à la dette écologique relative à l'état de référence correspondant aux objectifs définis et estimées à partir de la situation de l'année 2010. Ce montant de coûts écologiques non payés est estimé à **4,4 Md€**, ce qui représente 0,2 % du PIB ou de la demande finale nationale. Cela donne idée du chemin qu'il reste à parcourir (avec l'internalisation chaque année d'une fraction de cette somme de façon à l'annuler complètement d'ici 2030) pour atteindre un niveau de qualité de l'air jugé acceptable.

Limites, développements

Les estimations de CENP portant aussi bien sur les émissions de GES que sur les polluants atmosphériques doivent être considérées comme de premiers résultats. Les ordres de grandeur pourront être ensuite affinés en fonction des informations disponibles. Il paraît en effet primordial de développer un système d'information relatif en premier lieu à l'état physique des différents milieux naturels et des facteurs annuels de variation, notamment les pressions exercées par les activités économiques. Le développement des informations sur la valorisation économique, notamment les coûts unitaires de réduction des émissions, doit être assuré en parallèle.

Le choix des normes écologiques pour l'estimation de CENP est déterminant. Plus ces normes sont exigeantes, plus le montant de CENP ou de dette écologique est élevé. C'est particulièrement vrai sur la question de la pollution atmosphérique, sur laquelle les normes européennes en vigueur jusqu'à la fin 2013 s'accompagnent d'une dette écologique de très faible ampleur alors qu'il en va tout autrement pour les nouvelles qui sont proposées aujourd'hui par l'UE. Ces nouvelles normes en matière de qualité de l'air entraînent une réévaluation à la hausse de la dette écologique.

Il paraît enfin important d'ancrer ces travaux dans les réflexions actuelles sur la transition énergétique et sur les voies possibles vers un développement durable. Il serait également intéressant de se rapprocher d'organismes spécialisés ou de comités chargés de remettre des propositions, par exemple sur les moyens de parvenir au facteur 4.

Le regroupement des informations nécessaires au sein d'un observatoire permanent, associant notamment les organismes détenteurs des données régulières sur l'état des milieux naturels ainsi que ceux disposant d'informations économiques (coûts), permettrait de se rapprocher d'une comptabilité régulière sur les CENP et de décliner de nouveaux indicateurs économiques de développement durable pertinents.

Summary

Background

Research over several decades in the area of environmental economic accounting has not been able to converge on a consensus leading to the construction and above all to the adoption of a new indicator of sustainable production or national saving. Unpaid ecological costs provide an environmental economic accounting approach able to address the most important relations between the economy and the natural world.

Unpaid ecological costs (UEC) reflect the sums that should have been borne by economic agents to prevent degradation of the different natural assets (air, climate, water bodies, soils, biodiversity, etc.) or to restore their condition. Once estimated, these unpaid costs would give rise to new measures for certain national accounting aggregates (quantities such as final consumption or saving) and to the introduction of a new aggregate, the ecological debt. In an inclusive accounting system, comparison between the current aggregates and adjusted aggregates would enable evaluation of the unassumed burden of costs resulting from pressures exerted on nature by current development patterns.

Evaluation of the ecological debt and a new measure of final demand

The approach[1] aims to measure the total cost of domestic final demand, an aggregate totalling spending for national final consumption and investment. The value of final demand is considered to be under-estimated in current national accounts as these neglect the cost relating to degradation of today's natural assets. In the absence of adequate measures to alleviate the pressures on nature, the value of goods and services acquired by consumers, generally at market price, does not, for a given year, include the cost of degradation of certain natural assets. This value, not currently recorded in national accounts, is evaluated at the cost of maintaining or restoring the natural assets.

In concrete terms this means evaluating the unpaid ecological costs on the basis of efficient measures (environmental goals attained at least cost) taking the form of investment in low-carbon technologies or raising the production cost or acquisition cost of certain goods. For instance, the intention to reduce greenhouse gas (GHG) emissions may be realised by determining a carbon price that favours increase in certain prices, modification of the structure of production and demand, and the development of low-emission technologies.

In an inclusive national accounting system, the estimated amount of UEC would be added to final demand as currently measured in national accounts and a capital transfer for the same value would be made to the economy's resources. Such accounts would be balanced and would be coherent with current national accounts. This initiative constitutes a proposal to widen the current framework of national accounts without severely disrupting it.

Depending on the existing issues or natural environments, the focus can be on degradation affecting domestic natural assets such as air, continental waters or soils in France, but also on those abroad or that are global in nature. In a closed economy or one that has little opening to the outside, the interest will be in domestic natural assets. In an open economy, it is necessary to take account of degradation caused abroad in order to satisfy France's final demand. This requires compiling of a large amount of information, notably on environmental pressures (pollutant emissions, waste) attributable to French imports and on the costs that would have enabled those pressures to be avoided. As these data are difficult to collect for all of France's economic partners, the estimates proposed in this document will be limited to domestic impacts, i.e. estimates of UECs enabling avoidance or remediation of degradation within national territory. Climate change, for its part, is a global issue. An excess of GHG emissions leads to degradation (disruption to balance of climate system) which is not manifest at the place where the pressures are applied.

Before arriving at the introduction of detailed accounting based on regular updates, the ambition is limited at present to two types of evaluation: **the amount of the ecological debt and estimate of UEC over a given year**. The first notion is a measure of stock whereas the second is a measure of flows. The evaluations proposed in this document remain partial as they do not cover all natural assets.

The ecological debt aims to account for all of the annual UECs from the point at which nature's capacity to absorb the pressures is exceeded. This corresponds to the total expenditure that would be necessary to return to a past baseline state without excessive pressure on nature. As UECs have not been accounted for regularly in the past, evaluation of the ecological debt is obtained ipso facto via calculation of the total of costs that would today need to be assigned to a multi-annual plan to re-establish natural regeneration capacity. As the limits of environmental resilience (level of pressure than nature can withstand) are not known systematically, standards or objectives fixed by governmental authorities are often used. Even if such goals are set for a given future horizon, the aim is still to return to a former baseline state. Giving this a precise date is not always possible. Standards and goals may tolerate a certain degree of degradation of nature, especially when the cost of complete restoration appears prohibitive. Evaluation of the level of ecological debt is therefore closely tied to the environmental standards or goals adopted. It may therefore give rise to re-evaluation if these standards or goals are changed. The choice of a standard or set of standards for estimation of the ecological debt is not always a simple matter, notably where atmospheric pollution is concerned.

With this approach, the ecological debt is seen as a debt to nature. It is obviously not a contractual debt like that of a State paying back a part of its debt (plus interest) to its creditors every year. The ecological debt must be viewed as an accounting concept the valuation of which for different areas could contribute to policy making or pathways to sustainable development.

Once the amount of the ecological debt at a given date has been estimated, this amount may increase if new UECs appear. The ecological debt decreases if costly measures that reduce pressures on nature and partially restore its state are internalised by the economy.

Measurement of UEC for a given year is based on the variation in natural assets from year to year in accordance with the level of pressure exerted by economic activities (annual quantity of emissions increasing atmospheric concentrations or contamination of soils and water bodies by certain substances). The cost that would have enabled this increased degradation to be avoided is an additional UEC, contributing to increase in the ecological debt.

[1] *Approach developed by A. Vanoli, Chair of the French national accounting association in an article published in 1995 proposing a description, and accounting method for relations between the economy and nature, considered as an entity in its own right. In a recent publication (2012), he formulates and explains the concept of final demand at total cost.*

The annual UECs are added to final demand in national accounts. The result is a new aggregate known as "final demand at total cost". With UEC for a given year the final demand at total cost is higher than that measured at paid cost (current national accounts). As output and revenue from the national economy remain unchanged in relation to current national accounts, national saving is reduced by the annual UECs. If the pressures on nature do not increase over the year the UECs are null. They become negative in the case of lower pressures and partial restoration of some natural environments (for instance, implementation of measures applied to certain water bodies).

The challenge lies in evaluating the purple part of the graph (amount of UECs) to ascertain approximately its proportion in relation to other known values such as GDP or final consumption. This requires an evaluation of the UECs over all of the natural assets, something which cannot be obtained at present.

In this edition of *Études & documents*, an evaluation of UECs has been made for the issue of climate change based on France's context and goals; a second evaluation relates to atmospheric pollution.

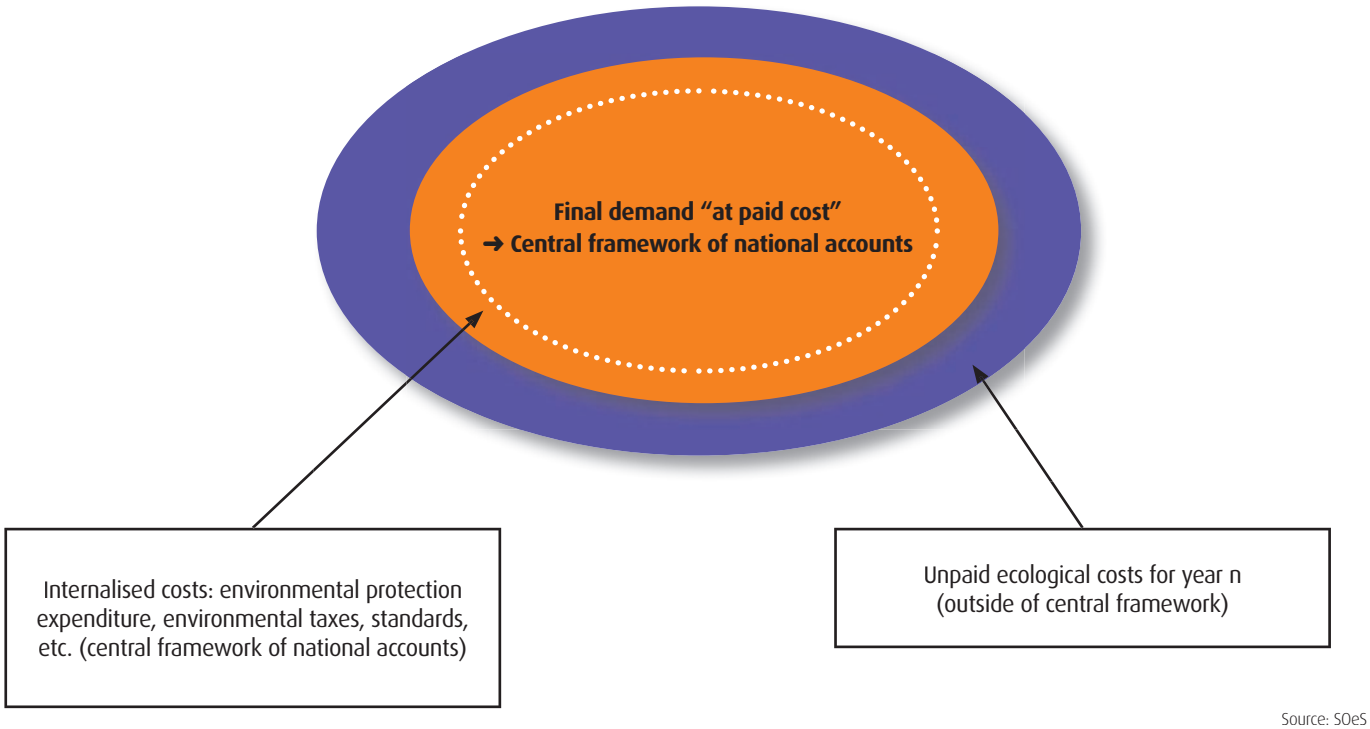
Unpaid ecological costs relating to climate change

Maintaining climate balance is a global issue that cannot merely be addressed locally by implementing environmental limit values or objectives to restore or conserve the state of natural assets within a given territory. On the global level, the means adopted to limit average global warming to 2 °C is to halve GHG emissions between 1990 and 2050 (with a downward trend from 2020).

Even though it represents only a very partial contribution to maintaining climate balance, given the small share of France's emissions in the world total, the GHG reduction target France has set for itself ("Pope" Act of 2005) is taken as the reference. This target, known as "Factor 4", aims for a fourfold reduction in annual GHG emissions between 1990 and 2050. This objective must then be specified by an emissions pathway establishing an annual rate for emission reductions.

Estimation of the amount of the ecological debt is based on work to evaluate the total cost that would be required for full implementation of "Factor 4". The work in question is that of the Quinet Commission (2008) on the "tutelary value of carbon" and the 2011 report from the De Perthuis Committee "*Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone*" (pathways to a low-carbon economy 2020–2050). This latter report gives indications as to the global cost of the Factor 4 goal, taking three different pathways between 2012 and 2050. The total annual cost for the period is between €260 billion and €440 billion. These evaluations do not, however, take account of a certain decrease in GHG emissions foreseeable even without the application of additional measures, since reduction measures already introduced in recent years will continue to produce effects in the years to come. The estimates mentioned above were made with the implicit assumption of stability of GHG emissions over the period if present conditions were maintained (without increased cost). It is on this basis, and with a degree of caution, that these amounts can be related to the notion of ecological debt. Rather than attempting to specify the amount of the ecological debt relative to GHG emissions to be reduced, the focus is on the (possible) arising of annual UECs contributing to an increase in the level of ecological debt. Conversely, in the presence of important reductions in emissions, the UECs are negative and the ecological debt decreases.

Diagrammatic representation of final demand at total cost



Source: SOeS

Three possible cases can be envisaged:

– increase in annual GHG emissions leading to new UECs and increase in the ecological debt;

– a regular decrease in emissions compliant with achieving Factor 4 in 2050: UECs are replaced by new costs in economic transactions (environmental taxes, protection expenditure, investments in low-carbon technologies, etc.) progressively reducing the ecological debt;

– intermediate situation: reductions in emissions but not enough to reach the goal on time; UECs must be considered if transfer of emission reductions from one year to another at the same unit cost is judged impossible.

Examination of these three situations is based on the marginal cost of an avoided tonne of carbon. With this information, it is possible to evaluate the quantity of emissions considered to be excessive in relation to the pathway determined in view of the goal. The "*Trajectoires*" (pathways) report proposed an evolution in the marginal cost according to three profiles each leading to attainment of Factor 4. The scenario adopted here is the scenario T30 which contains the sharpest drop in emissions by 2020. The price of CO_2 increases regularly over the period from €35/tonne avoided in 2012 to a little over €300 in 2050.

A precise pathway must be established to ascertain the annual emission reduction effort to be envisaged for the period. Different types of profiles, more or less regular, are produced by models but in terms of UEC a constant annual effort can be retained (equivalent emission reduction each year).

The pathway selected is for an annual GHG emission reduction of 9 million tonnes of CO_2 equivalent, nine-tenths of which are CO_2. It is a simpler profile than that adopted in the "Trajectoires" report, the latter not being wholly linear.

Estimates for UECs have been made for three years (2010, 2011 and 2012) on the basis of annual GHG emissions from Citepa[2] inventories. New UECs appear when observed emissions are above those fixed for the "ideal" pathway. This difference is quantified by the marginal cost of CO_2 at the start of the period (€35 then €36 per tonne).

The results are as follows:

2010 is marked by an increase in GHG emissions and the resulting UECs are estimated at €560 million, representing 0.03% of GDP or of national final demand.

In 2011, emissions reduced much more sharply than expected (-28 Mt against -9 Mt). There is therefore no UEC for that year. However, the far more than expected drop in emissions leads to a decrease in the ecological debt estimated at around a billion euros.

Lastly, in 2012, GHG emissions remained stable. UEC is measured on the basis of 9 MtCO2eq that should have been eliminated. The amount is estimated at €400 million.

Based on the elements available it is possible to estimate an amount for UEC each year in relation to the emissions observed, giving valuable indication as to the sustainability of the path taken by the economy. These estimates must, however, be looked at in more depth or at least viewed in the light of the following:

• UEC measurement is based on domestic emissions. In an open economy it would have been more appropriate to base them on the carbon footprint of final demand which measures GHG emissions resulting from meeting final consumption and investment in France (emissions in national territory + emissions relating to imports – emissions relating to exports). As carbon footprint emissions are greater than domestic emissions, the proposed estimates can be considered as minimising.

• The link between annual UECs and variation in ecological debt must be looked at in more depth. When in a given year there is deviation from the pathway leading to Factor 4, it would appear advisable to make a new estimate of the ecological debt over the entire remaining period. This calculation would be more robust than adding the estimated UECs for the past year to the ecological debt measured at the start of the year.

• The estimated amounts of UEC should be broken down in relation to the components of final consumption (part taken by final demand and investments) and if possible by product.

[2] *Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique (interprofessional centre for study of atmospheric pollution).*

Summary of results

Year	Annual variation in emissions (in $MtCO_2eq$)	GHG emissions/required F4 pathway	Estimated annual amount UEC (millions of euros)	Direction of variation in ecological debt
2010	+6	Too high	560	Increase
2011	-28	Decrease greater than required pathway	0	Decrease (-€970 million)
2012	0*	Too high	400	Increase

* *SOeS calculations from preliminary Citepa estimate*

Note: these three years cannot be totalled as each is defined as the starting point for an emissions reduction scenario.

Unpaid ecological cost relating to air pollution

The aim here is to measure the currently unpaid cost that would allow restoration of air quality. In terms of unpaid ecological cost, this consists in measuring the annual cost that would have to be borne over and above existing measures to return to acceptable environmental standards currently not being met.

Two initial questions arise: the choice of substances affecting air quality and the degree of restoration aimed for, since it is not practical to estimate UECs for all emissions to the atmosphere. In addition, it is now accepted that complete restoration to an atmosphere without any damage (or impact) of human origin is out of our reach, the associated costs being prohibitive.

Scope of atmospheric pollution applied here

The focus is on a list of substances that have adverse impacts on both human health and on ecosystems in terms of acidification, eutrophication and photo-chemical pollution. These are fine particles of diameter less than 2.5 µm ($PM_{2.5}$), sulphur dioxide (SO_2), nitrogen oxides (NOx), ammonia (NH_3) and volatile organic compounds (VOC). Some of these (NOx, VOC) are precursors of tropospheric ozone, a gas that is harmful to human health and to the environment. These five substances have been particularly subject to regulation for several decades and are also the subject of regular evaluation work, notably in relation to the strategies developed by the European Union (EU).

What standard to adopt for UEC measurement?

Given the multiplicity of existing standards and strategies, it is not easy to set limit values suitable for UEC estimation. The situation is further complicated by the current European transition period. Although the Gothenburg Protocol (GP) – which includes provision for new emission reductions by 2020 for the five substances covered – was extended in 2012, the situation remains uncertain with regard to the "National Emissions Ceilings" (NEC) Directive (covering the same substances as the GP). In December 2013, the European Commission published a new Clean Air Programme for Europe including quantified targets to improve air quality and new emission reduction requirements by 2030.

In the absence of clear standards in the present situation, a scenario is used from the International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA – based in Austria) on which the Commission relied in determining the targets for its Clean Air Programme for Europe. The emission reductions calculated for France with the IIASA's Gains model are consistent with those included in a proposed new directive on emissions ceilings published by the European Parliament and Council in December 2013.

At the end of 2013, the IIASA developed a scenario in line with the targets of the new European policy. This "scenario-target" allows significant reductions in the impacts of atmospheric pollution, with increased costs. To estimate the amount of UEC, the results in terms of costs up to the 2025 horizon must be related to the level of cost borne at present by France's economy, so as to determine the additional amount that would allow the stated targets to be attained.

Results obtained

1) Human health and preservation of ecosystem targets for 2030

Results aimed for by 2030

	Variation 2030/2010 EU (%)	Variation 2030/2010 France (%)
Ecosystem areas with nitrogen deposits above critical loads	-27.7	-39.3
Years of life lost due to exposure to $PM_{2.5}$	-44.5	-44.8
Number of premature deaths due to exposure to ozone	-31.3	-31.7

Source: IIASA, SOeS calculations

The new targets in the scenario go well beyond those of the European Thematic Strategy on Air Pollution (TSAP) adopted in 2005.

They imply levels of air quality (not explicit in the text of the new strategy) making possible such reductions in impact on health and ecosystems. Implementation of these targets for France would result in similar improvements to those calculated for the EU in the area of human health and greater improvements in the area of protection of ecosystems from eutrophication.

This level of restoration implies greater efforts to reduce emissions and additional costs to be borne.

2) Cost to be borne in relation to emission reduction required to meet targets

The levels of emissions to be attained by 2030 in relation to targets defined in the table above represent reduction efforts well beyond those in regulations currently in force and of the Gothenburg Protocol. The attendant costs are increased as a consequence. The total annual cost calculated for France by the Gains model is €12.5 billion in 2025. That amount totals the costs enabling meeting of targets by 2030, whether the costs are already borne today or whether they represent a new effort to be made. A non-negligible proportion of this sum is actually paid today (internalised), notably after efforts undertaken in the 2000s that have enabled significant emission reductions. To get an idea of the "outstanding amount to be paid" it is necessary to know the costs currently borne by the economy. The Gains model estimates €8.1 billion borne by France in 2010 to reduce or contain atmospheric pollution. The difference between the amount estimated in 2010 and that projected for 2030 to meet the air quality improvement targets represents an amount for the UEC. This corresponds to the ecological debt in relation to the baseline state corresponding to targets set and estimated on the basis of the situation in 2010. The amount of unpaid ecological cost is estimated at €4.4 billion, representing 0.2% of GDP or national final demand. This gives an idea of the distance still to be covered (with internalisation each year of a fraction of this sum to reach complete pay off by 2030) to attain a level of air quality judged to be acceptable.

Limits, developments

The estimates of UEC relating both to GHG emissions and atmospheric pollutants must be considered as first results. The orders of magnitude may be refined subsequently in accordance with the information available. It appears to be of prime importance to develop an information system relative, initially, to the physical state of different compartments of the natural environment and annual factors for variation, notably the pressures exerted by economic activities. The development of information on economic valuation and notably the unit cost of emission reductions must be ensured in parallel.

The choice of environmental standards for UEC estimation is a determining factor. The more stringent the standards, the higher the amount of UEC or ecological debt. This is particularly true for the issue of atmospheric pollution with European standards in force until the end of 2013 accompanied by a very low ecological debt, whereas the converse is true for the new standards proposed today by the EU. These new air quality standards lead to an upward re-evaluation of the ecological debt.

Lastly, it appears important to base this work firmly on current consideration of the energy transition and on possible paths towards sustainable development. It would also be advantageous to approach specialised bodies or committees tasked with developing proposals, for instance on the means to attain Factor 4.

Grouping of the necessary information within a permanent observatory, associating in particular bodies holding regular data on the state of natural environments as well as those with economic information (costs), would be a step towards regular UEC accounting and would enable implementation of new and relevant economic indicators of sustainable development.

Les coûts écologiques non payés : vers de nouveaux indicateurs économiques de développement durable

Aller au-delà du PIB

La croissance ininterrompue de l'activité économique mondiale, même ralentie depuis quelques dizaines d'années dans les pays occidentaux, propage des dommages environnementaux et se heurte à l'épuisement à venir de différentes ressources minérales et énergétiques. La focalisation sur l'objectif de croissance économique met au centre des préoccupations l'indicateur du Produit intérieur brut (PIB). Or, le PIB est une mesure de la production d'une économie au cours d'une année donnée. Il n'intègre pas la dimension de la « soutenabilité », ne répondant pas à la question de savoir si le rythme et le mode actuels de production et de consommation pourront être reproduits indéfiniment. Ainsi, les atteintes non compensées au patrimoine naturel et le coût futur induit par des ressources naturelles de plus en plus difficiles à extraire ne sont pas pris en compte.

L'indicateur du PIB ne dit rien sur la qualité et la solidité de la croissance rapide de la production et des revenus dans certaines régions du monde. En effet, la formation des revenus, tels qu'ils se construisent actuellement au niveau des économies nationales, ne reflète pas les véritables performances de l'économie car une grande partie des atteintes à l'environnement causées par les activités économiques n'est pas comptabilisée. Le rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social (dite Stiglitz), partant de ce constat, a souligné les défauts des instruments classiques de mesure de performances économiques durables et du bien-être actuel.

Options au niveau international

Les recherches entreprises depuis plusieurs décennies dans le domaine de la comptabilité économique environnementale n'ont pu converger sur un consensus débouchant sur la construction et surtout l'adoption d'un nouvel indicateur de la production ou de l'épargne nationale intégrant la préservation du patrimoine naturel. Il paraît aujourd'hui admis que la production d'un indicateur unique répondant aux différentes dimensions du bien-être est hors de portée comme l'a souligné le rapport de la Commission Stiglitz. Ce rapport a souligné la difficulté, voire l'impossibilité actuelle, de prendre en compte simultanément, à travers un même indicateur, le bien-être présent et futur. Ces deux dimensions doivent être clairement séparées.

Au niveau international, différentes options ont été suivies afin de compléter le PIB par d'autres indicateurs. On peut schématiquement considérer trois grandes familles de méthodes :

- l'approche tableau de bord ;
- les indicateurs composites de développement durable ;
- les indicateurs ajustés à partir des agrégats des comptes nationaux.

L'approche « tableaux de bord » consiste à suivre différents phénomènes d'intérêt au moyen d'une batterie d'indicateurs portant aussi bien sur les performances économiques, le progrès social et la qualité de l'environnement. Le diagnostic d'ensemble est cependant difficile à établir en présence de nombreux indicateurs aux évolutions contradictoires. La hiérarchisation de ces indicateurs ou même leur catégorisation selon différentes thématiques s'avère souvent difficile ou relevant de choix implicites. Ainsi, les indicateurs d'emploi relèvent aussi bien des performances économiques que du progrès social. Enfin, les unités sont différentes d'un indicateur à l'autre. Si tous les éléments sont exprimés en valeur monétaire, l'agrégation est possible, ce qui permet un diagnostic rapide, mais qui suppose implicitement la compensation entre les différentes formes de capital.

Comme exemple de cette approche, il faut mentionner d'une part les travaux de la « taskforce » coordonnée par l'UNECE, l'OCDE et Eurostat sur la mesure du développement durable. Par ailleurs, les stratégies nationales en matière de développement durable en Europe reposent le plus souvent sur des tableaux de bord d'indicateurs classés par grandes thématiques.

L'approche représentée par les indicateurs composites de développement durable consiste à construire un indicateur synthétisant en un nombre unique sans unité différentes questions relatives à l'environnement, aux performances économiques et à la cohésion sociale. Le plus connu des indicateurs de ce type est l'indicateur de développement humain qui combine trois dimensions (niveau de vie, santé et éducation) à l'aide de quatre indicateurs (revenu national brut par habitant, durée attendue de scolarisation pour les enfants d'âge scolaire, durée moyenne de scolarisation pour les adultes âgés de 25 ans et + et espérance de vie à la naissance).

D'autres indicateurs de même nature ne s'intéressent qu'à la dimension environnementale du développement durable. C'est le cas des indices de performance environnementale ou de vulnérabilité environnementale développés respectivement par l'université de Yale et par le Programme des Nations unies pour l'Environnement (PNUE).

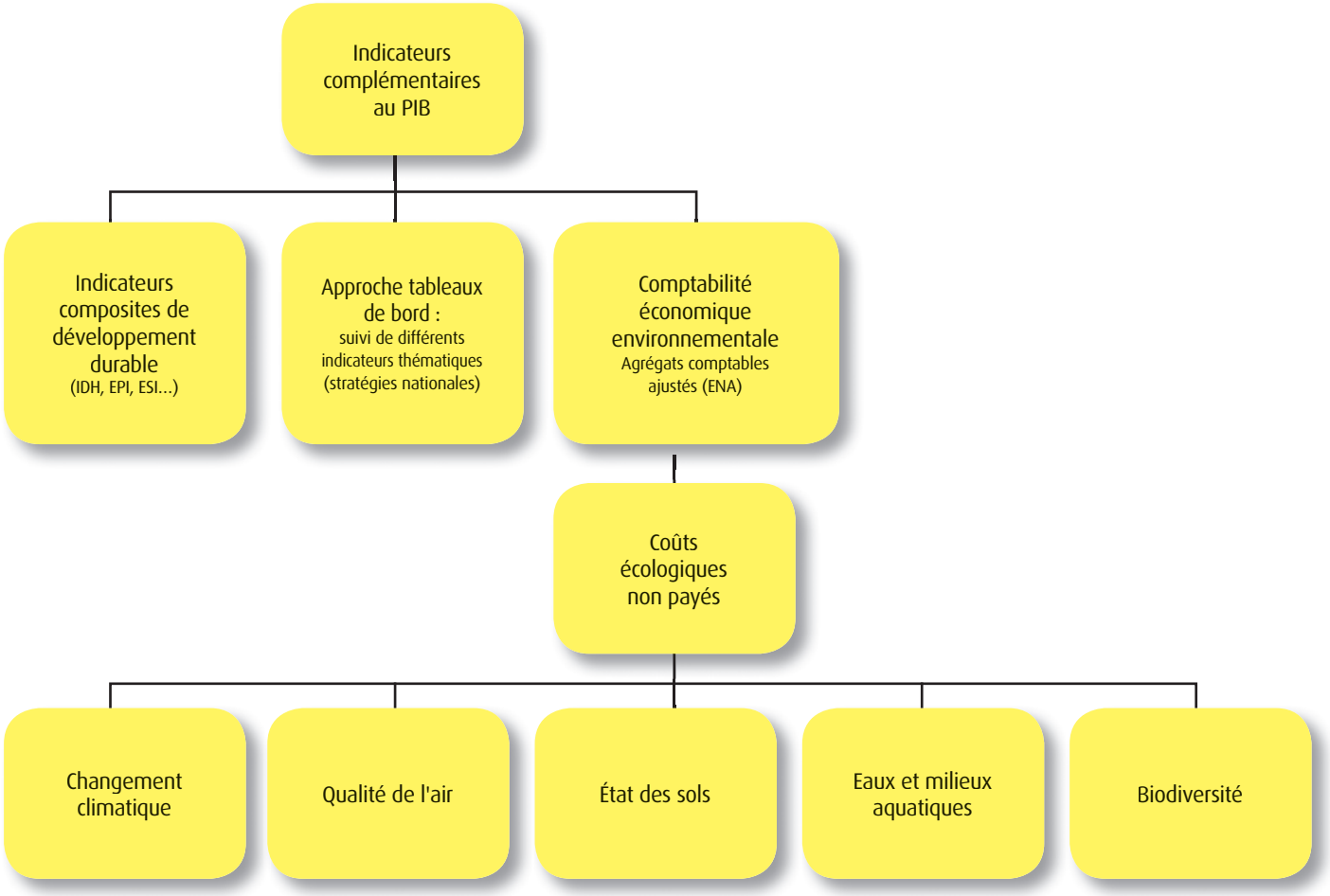
L'empreinte écologique instituée par le laboratoire d'idées « Global Footprint Network » mesure selon une logique propre (non comparable à celle employée par la plupart des indicateurs composites), la surface de sol et d'océans nécessaire pour fournir les ressources consommées par une population donnée et pour assimiler les rejets et les déchets de cette population.

Les indicateurs composites sont parfois critiqués du fait des normalisations et pondérations qui sont utilisées. La Commission Stiglitz-Sen-Fitoussi a émis de sérieuses réserves quant à leur capacité à rendre compte de la soutenabilité.

La troisième famille d'approche relève de la comptabilité économique environnementale. C'est une recherche d'indicateurs ajustés prenant appui sur le cadre et les équilibres de la comptabilité nationale. Cette approche sera développée spécifiquement car les CENP (même s'ils ont été isolés dans le schéma *infra*) constituent une démarche particulière de mise en œuvre de solutions concrètes dans ce domaine.

La séparation entre les deux dernières familles de méthodes n'est pas toujours aussi nette. Certains indicateurs synthétiques prennent appui sur les agrégats de la comptabilité nationale et font aussi appel à des transformations qui les rapprocheraient plutôt de la catégorie des indicateurs composites.

Schéma général sur les indicateurs de développement durable



Source : SOeS

Les agrégats comptables ajustés

Il s'agit d'indicateurs qui se basent sur les grandeurs mesurées par les comptes nationaux (PIB, épargne) et procèdent à leur ajustement afin d'intégrer certaines préoccupations environnementales. Ces indicateurs sont exprimés en valeur monétaire. Le plus connu de ces indicateurs est l'épargne nette ajustée de la Banque mondiale.

L'épargne nette ajustée

La notion d'épargne ajustée (qualifiée dans un premier temps d'épargne véritable) a été proposée et appliquée par la Banque mondiale. Cette approche propose trois types d'ajustements à l'épargne nationale nette des comptes nationaux sans modifier les agrégats et soldes antérieurs (produit intérieur net, revenu disponible net, etc.).

a) L'épargne nette est augmentée du montant des dépenses d'éducation. Ces dernières sont en effet considérées comme un investissement en capital humain et non plus comme une consommation finale.

b) La valeur de l'épuisement des ressources naturelles (ressources minérales et forestières) est déduite.

c) Le coût social des dommages liés aux émissions de CO_2 et de particules est retranché.

Les indicateurs ajustés proposés par le « System of Environmental-Economic Accounting » (SEEA)

Le SEEA, manuel de comptabilité économique environnementale à l'initiative des Nations unies, développe un ensemble de comptes intégrés en élargissant à l'environnement le champ de la comptabilité nationale.

Dans le cadre de sa révision, deux manuels ont été publiés en 2012 et 2013 : le premier appelé « cadre central du SEEA » s'intéresse aux comptes physiques et monétaires des actifs environnementaux fournissant des ressources à l'économie (ressources minérales, terrains, eau). Leur variation d'une année sur l'autre est envisagée uniquement sur le plan quantitatif (extraction de matières premières, découvertes de nouveaux gisements, destructions liées à des catastrophes naturelles), la qualité des stocks disponibles n'étant pas abordée. Le second volume du SEEA porte sur des comptes expérimentaux des écosystèmes et s'intéresse à la capacité de ces derniers à « fournir des services » (purification de l'eau, stockage du carbone, services récréatifs). Cette potentialité peut être entravée par la dégradation des écosystèmes résultant des activités humaines ou de catastrophes naturelles.

Les ajustements d'agrégats auxquels procède le nouveau SEEA pour tenir compte de l'impact des extractions de ressources naturelles ou de la dégradation environnementale (même si sur ce plan, les méthodes sont beaucoup moins avancées), sont envisagés sous la forme d'un coût de production supplémentaire. Plus précisément, la valeur de l'épuisement de certaines ressources naturelles ou de la dégradation d'écosystèmes particuliers est analysée comme une consommation de capital naturel qui s'ajouterait à la consommation de capital fixe des comptes nationaux et qui aurait pour conséquence de faire diminuer, non pas le PIB, mais le Produit intérieur net (PIN).

Les travaux engagés au ministère en charge de l'Écologie et du Développement durable

À la suite du Grenelle de l'environnement, le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (Medde) a entrepris une réflexion sur les indicateurs susceptibles de compléter le PIB. La demande a d'abord porté sur l'élaboration d'un PIB vert. Mais devant la difficulté de définir cette notion et les désaccords théoriques soulevés par sa construction, des travaux ont été engagés sur une voie plus modeste. Ils portent sur l'évaluation des coûts non payés qui auraient permis d'éviter la dégradation de l'environnement ou de réparer les dommages constatés. Ces coûts non payés, une fois estimés, ont vocation à être intégrés à certains agrégats de la comptabilité nationale. Il s'agit par exemple d'évaluer le coût permettant de retrouver une qualité de l'air sans dommage pour la santé. Seule la fraction de coût qui n'est pas supportée aujourd'hui à cette fin doit être comptabilisée comme CENP.

Comptabiliser les coûts écologiques non payés

Les CENP reflètent les montants qui auraient dû être consentis par les agents économiques en vue de prévenir ou compenser la dégradation de différents actifs naturels (air, climat, cours d'eau, sols...). Ces coûts non payés, une fois estimés, donnent lieu à de nouvelles mesures pour certains agrégats de la comptabilité nationale. La comparaison entre les agrégats actuels et les agrégats ajustés permettrait d'évaluer le poids des charges non assumées résultant des pressions du mode de développement actuel sur la nature. Il ne s'agit pas ici de remplacer les agrégats classiques de la comptabilité nationale par de nouveaux, mais de leur adjoindre des mesures complémentaires destinées en pratique à un compte de type satellite, mais ayant vocation à figurer in fine dans un cadre central élargi.

Le cadre d'analyse des CENP est plus restreint que celui portant sur l'évaluation des écosystèmes à fournir des services (SEEA, volume 2), mais les difficultés d'évaluation ne doivent pas être sous-estimées.

Principe

L'approche[3] vise à mesurer le coût total de la demande finale. On considère en effet que sa mesure par les coûts payés dans les comptes nationaux actuels est sous-évaluée car elle laisse de côté le coût correspondant à la dégradation des actifs naturels. Ce coût devrait être mesuré et comptabilisé lorsque la pression des activités économiques sur la nature est trop forte pour que ses fonctions régulatrices (renouvellement de l'air, purification de l'eau) se maintiennent normalement. L'accumulation d'émissions dans l'air, l'eau ou les sols peut entraîner des perturbations écologiques rendant inopérantes de telles fonctions. Apparaissent alors des dommages environnementaux plus ou moins importants. Ainsi, des rejets réguliers de polluants dans les rivières par certaines industries entraînent une contamination durable de l'eau. À ce stade, la capacité d'absorption de la nature est entravée et son rétablissement exige l'emploi de mesures correctrices coûteuses (travaux de réparation, mesures fiscales ou réglementaires visant à réduire les pressions).

[3] *Approche développée par A. Vanoli dans un article paru en 1995 qui propose une description et un traitement comptable des relations entre l'économie et la nature, considérée comme une entité à part entière. Il formule et explicite le concept de demande finale aux coûts totaux dans la communication intitulée « Towards the Estimation of Final Demand at Total Costs (Paid Economic Costs plus Unpaid Ecological Costs) in an extended National Accounting Central Framework » (http://www.iariw.org/papers/2012/VanoliPaper.pdf) et présentée à la 32e conférence générale de l'association internationale IARIW (International Association for Research in Income and Wealth) à Boston en août 2012. La version française de cet article est disponible sur demande à l'auteur.*

Les indicateurs répondant aux recommandations du rapport Stiglitz sur le volet environnement et développement durable

Dans sa troisième partie consacrée à l'environnement et au développement durable, le rapport de la Commission « Stiglitz-Sen-Fitoussi » s'est prononcé pour le suivi des aspects environnementaux de la « soutenabilité » à partir d'une sélection d'indicateurs physiques. Dans le même esprit, le SOeS conduit depuis plusieurs années des travaux mettant en lumière certains types de rejets ou de prélèvements permettant de satisfaire les besoins de l'économie française. Ont ainsi été élaborés un indicateur sur la productivité matières qui rapporte au PIB la consommation de matières par l'économie française et un autre mesurant l'empreinte carbone de la demande finale intérieure. Ces deux indicateurs ont été intégrés dans le tableau de bord de la Stratégie nationale de développement durable 2010-2013. Une nouvelle stratégie nationale est en cours d'élaboration. Plus récemment, un indicateur de l'empreinte eau de la demande finale a été mis au point et des travaux ont été lancés pour la construction d'un indicateur d'empreinte déchets. Il s'agit là d'indicateurs issus de comptes hybrides, c'est-à-dire associant des mesures de pression exprimées en unités physiques à des données monétaires sur l'activité économique des branches.

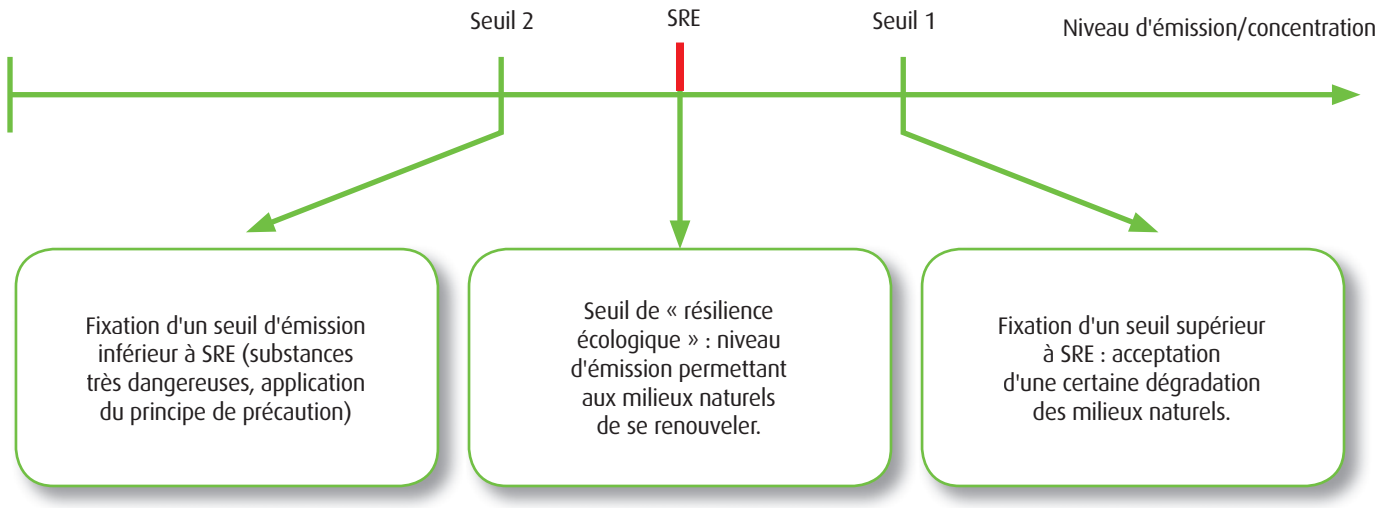
En l'absence de toute mesure permettant de revenir à une situation sans pression excessive sur la nature, la valeur de la demande finale, et particulièrement de la consommation finale, doit être réévaluée pour tenir compte des coûts de maintien des actifs naturels non assumés. Le montant à enregistrer correspond à l'ensemble des dépenses de restauration et/ou d'entretien nécessaires à l'élimination des dommages supplémentaires subis au cours de l'année par les milieux naturels. Cela peut aussi passer par l'estimation du coût des mesures qui auraient permis d'éviter l'accroissement du niveau de pression d'une année sur l'autre.

La mesure de la consommation finale à son coût total, intégrant les coûts écologiques non payés, entraîne une baisse de l'épargne nationale car la production et les revenus de l'économie restent inchangés par construction. En effet, l'approche considère l'économie et la nature comme deux entités distinctes.

Notion de dette écologique

Le traitement comptable proposé concerne l'année qui vient de s'écouler. Il ne retrace en valeur monétaire que le niveau de pression/dégradation supplémentaire qui a été observé durant l'année. Mais, cela ne renseigne pas sur la valeur totale de la dégradation qui a été accumulée depuis le moment où les capacités d'absorption de la nature ont été dépassées. Cette valeur est appelée « dette écologique ». Son estimation peut nécessiter de revenir loin dans le passé et de connaître les seuils de résilience écologique pour chaque milieu naturel en fonction des types de pressions. Devant la difficulté d'établir de tels seuils, une solution pragmatique consiste à se référer aux normes ou aux objectifs fixés par les autorités politiques. Ce sont alors les quantités physiques (émissions dans l'air) dépassant de telles références qui doivent être prises en considération et valorisées en termes de coûts, même si leur fixation peut prêter à discussion. En effet, ces

Fixation de seuils au plan écologique



seuils peuvent avaliser un certain niveau de dégradation de la nature ou, au contraire, marquer une exigence plus sévère que le véritable « seuil de résilience écologique », notamment dans des cas d'application du principe de précaution (se prémunir de risques graves et irréversibles, même en l'absence de certitude scientifique).

Les indicateurs attendus

L'estimation d'un montant annuel de CENP sur un champ suffisamment important permettrait une nouvelle estimation de la demande finale pour aboutir à la demande finale aux coûts totaux. La comparaison entre la demande finale aux coûts totaux (DFCT) et la demande finale aux coûts payés (DFCP) permettrait d'apprécier le poids des charges non encore assumées en vue de rejoindre un mode de production soutenable.

L'indicateur pertinent, proposé par A. Vanoli, serait constitué par le rapport entre la DFCT et la DFCP. Plus le résultat dépasse l'unité, plus la proportion de CENP est élevée. On peut aussi calculer le rapport entre le montant estimé de CENP et la DFCT. Dans ce cas, plus la valeur est proche de 0, plus les pressions sur la nature sont contenues ou éliminées.

L'établissement de la demande finale aux coûts totaux dans le cadre de comptes satellites expérimentaux entraînerait une épargne moindre que dans les comptes nationaux (CN) puisque les revenus resteraient inchangés. Le rapport entre l'épargne nationale ajustée des CENP et l'épargne nationale des CN représenterait également un indicateur pertinent.

En régime courant, les CENP reflètent un surcroît de pressions sur la nature d'une année sur l'autre. Mais, certaines années peuvent être marquées par le fait que l'économie assume de nouveaux coûts permettant de réduire les pressions écologiques. On est alors en présence de nouveaux coûts payés (ou CENP négatifs) contribuant à diminuer le montant de la dette écologique. Cette dernière est formée par l'accumulation de CENP annuels depuis le moment à partir duquel les capacités d'absorption de la nature ont été dépassées.

Autre indicateur pertinent, la dette écologique est une mesure de stock qui peut être obtenu de deux manières : soit par l'estimation, d'après un suivi régulier année après année, de la somme des CENP annuels à partir du moment au cours duquel le seuil de résilience écologique a été dépassé, soit à partir de l'évaluation – généralement par un organisme spécialisé ou un comité d'experts – du coût total permettant de revenir à des niveaux de pression permettant aux milieux naturels de se renouveler. En pratique c'est ce deuxième mode d'évaluation qui prévaut.

D'une année sur l'autre, la dette écologique s'accroît si des dommages naturels toujours plus importants entraînent la formation de nouveaux CENP, elle diminue si des mesures coûteuses sont prises pour atténuer les pressions sur la nature.

Particularité de l'approche des CENP par rapport au SEEA

Dans le cadre du SEEA révisé, un manuel sur les comptes expérimentaux des écosystèmes est paru en 2013. Ce manuel aborde la question des services fournis par les écosystèmes, mais aussi celle de leur dégradation. Celle-ci est envisagée de deux façons différentes :

– comme la baisse de capacité des écosystèmes (à la suite de pollutions diffuses) à fournir des services (purification de l'eau, stockage du carbone, services récréatifs) ;

– comme l'altération de l'état des écosystèmes en tant que tel.

Tableau des indicateurs issus des CENP

Agrégats des comptes nationaux	Agrégats ajustés des CENP	Ratios (en %)
Demande finale (aux coûts payés) : consommation finale (CF) + formation brute de capital	Demande finale aux coûts totaux DFCT = DFCP + CENP	DFCT/DFCP CENP/DFCT
Épargne nette (EN) : revenu disponible net (RDN) - consommation finale (CF)	Épargne nette ajustée des CENP : EN - CENP ou RDN - DFCT	ENaj/EN

Dans le premier cas, la mesure est basée sur une baisse de potentiel et dans le second elle repose sur une évaluation des coûts de restauration permettant à l'écosystème de recouvrer son état initial. Ce second cas est conforme à la problématique des CENP.

Le traitement comptable diffère entre l'approche CENP et le SEEA, même si, dans les deux cas un ajustement ex post est réalisé. Dans la première approche, l'ajustement est réalisé sur la demande finale, dans la seconde sur le produit intérieur net, la valeur estimée de la dégradation s'ajoutant à la consommation de capital fixe (CCF). L'ajustement par un mode de valorisation, différent de celui des CN, de la demande finale paraît plus prudent (réaliste) que celui de la production car il ne suppose pas une internalisation préalable dans l'économie. En effet, l'ajustement par un ajout à la CCF constitue une charge supplémentaire pour les entreprises qui - en cas de son application effective – les aurait conduites à modifier le prix des produits et les quantités produites. En conséquence, la valeur de la production aurait été différente de ce qu'elle est avant ajustement.

L'ajustement par l'ajout des CENP à la demande finale n'a pas d'incidence sur le système de production. La valeur supplémentaire imputée, i.e. le montant estimé de CENP, n'a pas de contrepartie en termes de revenu, ce qui fait diminuer l'épargne.

L'écriture d'un transfert en capital de la nature vers l'économie du même montant que la valeur supplémentaire de la demande finale rééquilibre les comptes.

Pour éviter toute erreur d'interprétation à ce stade, il convient de préciser que le calcul de la demande finale aux coûts totaux ne consiste pas à relever le volume de la consommation avec l'ajout d'un poste supplémentaire aux biens et services retracés par les comptes nationaux. Dans les deux cas, la quantité consommée des différents biens et services est identique[4]. L'objet porte sur le coût de la demande finale plutôt que sur son contenu (inchangé). Il s'agit d'un mode de valorisation de la demande finale différent de celui en vigueur dans le système de comptes nationaux actuels.

Le transfert en capital de la nature à l'économie (à répartir entre les entités, - ménages, entreprises, administrations – responsables de l'accroissement des pressions) se justifie par le fait que, dans cette approche, c'est la nature qui « supporte » le coût de la dégradation causée par les activités économiques. On enregistre parallèlement dans un compte spécifique de la nature une variation de patrimoine à la baisse équivalente au montant des CENP. Le fonctionnement est retracé dans le schéma ci-après[5]. On y a représenté les comptes de l'économie de manière très simplifiée (PIB de 1000, consommation finale de 900, formation brute de capital de 100) dans le cadre d'une économie fermée.

Dans les comptes de l'économie, les agrégats classiques des comptes nationaux sont inscrits en mode normal. Les nouvelles écritures et agrégats ajustés sont donnés en italique. Dans cet exemple de compte fictif, des pressions sur les actifs naturels (eau, air, sols) plus élevées que l'année précédente ont été relevées. Sur la base de la dégradation additionnelle, des CENP ont été estimés à 50, dont 45 portant sur la consommation finale de produits et 5 sur la formation de capital (investissement). La valeur de la consommation finale s'élève à 945, lorsque l'on passe aux coûts totaux et celle de la formation de capital à 105. On fait ainsi apparaître une valeur de la demande finale supérieure à celle des comptes traditionnels et un montant d'épargne négative égal aux CENP. Un transfert en capital du montant de ces CENP est inscrit au compte de capital et rééquilibre les comptes de l'économie.

[4] Une interprétation rapide et erronée, serait de dire que cette proposition a pour effet d'accroître la consommation, et implicitement le bien-être, alors que ce dernier est affecté par les dégradations causées à la nature.

[5] Ce schéma reprend sous forme simplifiée une représentation développée par A. Vanoli (2012).

Tableau comparatif

	Approche CENP	SEEA*
Objet de la dégradation	Actifs naturels (minéraux, eau, sols, air, écosystèmes...)	Écosystèmes délimités à l'échelle spatiale (aires)
Relations économie/nature	Nature et économie vues comme deux entités distinctes	Nature (écosystèmes) vue comme un nouveau secteur économique ou intégrée à un secteur existant (agriculture). La production est élargie aux services non marchands fournis par les écosystèmes.
Estimation de la valeur de la dégradation	Coûts d'évitement ou de restauration	Évaluation de la baisse de capacité de services ou coûts de restauration des écosystèmes dégradés
Nouvel agrégat proposé	Demande finale aux coûts totaux	Produit intérieur net ajusté de la dégradation

** Manuel sur les comptes expérimentaux des écosystèmes (dit « volume 2 »)*

Source : SOeS

Représentation de l'enregistrement des coûts écologiques non payés

Comptes de la nature (en variation annuelle)	
Dégradation d'actifs naturels :	-50
Transfert en capital :	50

Comptes de l'économie	
Valeur ajoutée brute (PIB) :	**1 000**
Excédent brut d'exploitation :	**300**
Revenu disponible brut :	**1 000**
-	
Consommation finale	900
$CENP_{CF}$	*45*
=	
Épargne brute corrigée :	***55***
-	
Formation brute de capital :	100
$CENP_{FBC}$	*5*
=	
Épargne négative de l'économie :	***-50***
+	
Transfert en capital :	
$CENP_{CF} + CENP_{FBC}$	***50***

Source : SOeS d'après Vanoli (2012)

Mode de valorisation des coûts écologiques non payés

Deux types de coûts sont pertinents : des coûts d'évitement et des coûts de restauration.

Le choix pour l'un ou l'autre dépend du milieu naturel et de la nature des dommages constatés (ou prévisibles). Sur la question du climat, seuls des coûts d'évitement des pressions (émissions) seront retenus. Pour les autres actifs naturels, la solution est moins évidente. La situation peut requérir, notamment pour les masses d'eau, la mise en œuvre conjointe de coûts de restauration et d'évitement. S'il existe plusieurs choix, combinaisons ou trajectoires possibles, c'est la solution la moins coûteuse qui devra être retenue pour l'estimation de CENP. Il est très souvent fait appel à des modèles pour évaluer les coûts permettant d'atteindre une norme écologique donnée. Ces analyses et résultats, même si leur vocation première est d'appuyer des politiques publiques, par exemple dans le domaine de la transition écologique, peuvent être utilisés pour évaluer des CENP. L'estimation peut porter, soit sur le montant de la dette écologique (ce qu'il faut payer sur une période pluriannuelle donnée pour revenir à un état écologique restauré), soit sur le niveau de CENP annuel, ce qui implique un suivi régulier de l'état des actifs naturels et des pressions qui les affectent.

Quels sont les domaines environnementaux prioritaires ?

Estimer des CENP sur l'ensemble des milieux naturels ou écosystèmes représente une entreprise complexe et de grande envergure. Des priorités doivent être établies suivant les enjeux mis en avant dans les différentes régions du monde. Dans certains pays, le problème de l'eau est crucial, dans d'autres la déforestation ou la dégradation des sols prime. La Commission européenne a publié un document en 2009 intitulé « le PIB et au-delà » prévoyant la mise au point d'un indicateur de pressions environnementales synthétisant les problématiques suivantes : changement climatique et utilisation de l'énergie ; nature et biodiversité ; pollution atmosphérique et effets sur la santé ; utilisation de l'eau et pollution aquatique ; production de déchets et utilisation des ressources. Même s'il est difficile de mettre en avant un thème de préoccupation plutôt qu'un autre, on s'intéressera dans ce numéro d'*Études & documents* à deux domaines aux enjeux particulièrement importants : le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique. Ces deux domaines font l'objet d'un suivi et de travaux d'évaluation réguliers aussi bien en France que dans l'UE et de mesures de conformité de plus en plus sévères en raison des impacts sur la santé.

Les coûts écologiques non payés liés au changement climatique

Contexte

Devant la prégnance du phénomène du changement climatique, de nombreux rapports et évaluations paraissent régulièrement pour proposer des pistes destinées à réduire durablement les émissions de GES. Le Groupement intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec) a publié récemment le premier tome de son cinquième rapport d'évaluation.

Dans le cas de la France, le rapport sur le facteur 4 publié en 2013 par le Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) cite cinq rapports ou exercices menés depuis une dizaine d'années sur les moyens et les coûts pour parvenir à une division par quatre du niveau d'émission de GES en France entre 1990 et 2050.

L'objectif n'est pas d'entreprendre une nouvelle évaluation des coûts nécessaires pour parvenir au facteur 4, mais de s'appuyer sur certains travaux récents pour l'estimation de CENP dans le but de tracer de nouvelles pistes en matière de comptabilité économique environnementale.

Coûts écologiques non payés

La démarche suivie porte sur la mesure des CENP. Ces coûts reflètent les montants qui auraient dû être consentis par les agents économiques en vue de prévenir ou de remédier à la dégradation de différents milieux naturels (air, climat, cours d'eau, sols...). Ces coûts non payés, une fois estimés, ont vocation à s'intégrer dans un cadre comptable, celui de la comptabilité nationale, aux fins d'établir la valeur de certains agrégats sur une base différente des normes en vigueur. L'objectif est plus précisément d'estimer la valeur de la demande finale de l'économie aux coûts totaux (coûts payés + CENP). En présence de CENP, la valeur plus élevée de la demande finale se répercuterait sur l'épargne nationale. Son montant serait alors plus faible que dans les comptes nationaux actuels car la production et les revenus resteraient inchangés, l'économie et la nature étant considérées comme deux entités distinctes dans cette approche[6]. Les problèmes pratiques d'estimation sont cependant considérables.

Norme ou seuil écologique

Sur la question des émissions de GES, les CENP correspondent à un niveau d'émission en excès par rapport à une trajectoire permettant un accroissement limité à 2 °C de la température moyenne de la planète par rapport à l'époque préindustrielle. La présence d'un seuil écologique est cruciale et sur la question du climat le seuil de 2 °C a été validé par la communauté internationale. Le respect de ce seuil de température suppose qu'une concentration de 450 parties par million (ppm) pour l'ensemble des GES ne soit pas dépassée.

Coûts d'évitement plutôt que coûts de restauration

Dans l'absolu, les CENP peuvent porter aussi bien sur des coûts d'évitement que de restauration dans différents domaines, notamment la pollution de l'eau. Le choix dépend des techniques disponibles et de la comparaison des coûts à supporter en matière de restauration ou en matière d'évitement. La combinaison des deux est également possible.

Sur la question du changement climatique, le problème ne se pose pas en termes de restauration. Celle-ci n'est en effet quasiment plus possible une fois franchi le seuil de 450 ppm en raison de la durée de séjour des principaux GES dans l'atmosphère et l'objectif d'une hausse limitée à 2 °C de la température moyenne ne pourrait selon toute vraisemblance être atteint.

On se situe donc dans une logique d'évitement et de prévention. Les CENP surviennent bien en amont du franchissement du seuil écologique de hausse de la température moyenne. On peut situer leur apparition au moment où les émissions annuelles mondiales de GES ont atteint un niveau tel que leur maintien sur longue période conduirait à terme à franchir le seuil de 450 ppm.

De quelle partie de la nature est-il question ?

Il s'agit de l'atmosphère sous l'angle particulier de la question du réchauffement climatique (influence de la variation de sa composition gazeuse sur le réchauffement planétaire). L'atmosphère est présente dans la nomenclature des écosystèmes (dite Cices) sous le vocable « composition atmosphérique et régulation du climat ». Cette composition (cycle du carbone) et les fonctions de régulation peuvent être altérées par les émissions dans l'air générées par les activités humaines. Le SEEA, manuel de comptabilité économique environnementale sous l'égide des Nations unies, a exclu l'atmosphère de son champ d'investigation dans la partie, dénommée cadre central. Dans le second volume du SEEA, consacré à titre expérimental aux comptes des écosystèmes, l'atmosphère n'est pas étudiée en tant que telle à travers l'ensemble de ses fonctions régulatrices, mais en relation avec les comptes – et le cycle – du carbone. La précédente édition publiée en 2003 identifiait l'item « Atmospheric Systems » comme un actif naturel.

Contexte français

Pour la France, le seuil de déclenchement de CENP sur la question du climat ne peut être déterminé en rapport direct avec le seuil de 450 ppm. En effet, ce dernier est global et ne peut se décliner localement. On peut toutefois adopter une approche indirecte en se référant aux engagements de la France.

L'objectif édicté dans la loi Pope[7] de 2005 et réaffirmé plusieurs fois depuis, notamment dans le Grenelle de l'environnement, consiste en une division par 4 du niveau des émissions françaises de GES entre 1990 et 2050. C'est ce qu'on appelle le « facteur 4 ». Cet objectif peut être vu comme la contribution de la France à la préservation du climat de la planète, bien public mondial. Au-delà de ce principe, les modalités de détermination de l'effort national et de la trajectoire associée sont à construire.

Le facteur 4 représente certes un objectif politique, mais il se situe en cohérence avec le respect des équilibres écologiques climatiques. Rétroactivement, on peut situer le déclenchement de CENP en France l'année où les émissions de GES ont surpassé le niveau d'émission défini pour le facteur 4, soit 140 millions de tonnes d'équivalents CO_2[8].

[6] Cf. *A. Vanoli (2012),* Ibid

[7] *Loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique.*

[8] *Cette année n'a pu être identifiée par le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa). Les séries rétrospectives d'émissions annuelles de GES ne remontent pas avant 1960, année au cours de laquelle les seules émissions de CO_2 ont dépassé de beaucoup la valeur du facteur 4 (295 Mt émises).*

Résultats et données utilisés

Trois principales sources seront utilisées :

– les données d'inventaire du Citepa sur les émissions de GES ;

– les projections d'émissions de GES réalisées pour la Commission européenne ;

– des rapports d'étude ou d'évaluation précisant les coûts unitaires de réduction des émissions de GES, principalement le rapport du comité de Perthuis paru en 2011.

Le rapport du comité présidé par C. de Perthuis et intitulé « Trajectoires 2020-2050 - vers une économie sobre en carbone » constitue en quelque sorte une actualisation des recommandations du rapport réalisé en 2008 par le Centre d'analyse stratégique (CAS, désormais CGSP) sur « la valeur tutélaire du carbone ». Celle-ci a déjà été utilisée par le CGDD pour de premières évaluations de CENP ou dans le cadre de travaux d'évaluation des services écosystémiques.

Le rapport du comité de Perthuis a procédé à une évaluation des coûts de réduction des émissions sur la période 2012-2050 pour parvenir au facteur 4 sur la base de trois scénarios différents :

– les coûts totaux sur la période sont évalués à 256 Md€ pour le scénario dénommé T20 ;

– ils atteignent 324 Md€ pour le scénario T25 ;

– et 437 Md€ pour le scénario T30.

Si l'on s'intéresse au coût annuel total en 2050 associé aux trajectoires de réduction d'émission, le montant varie entre 34,8 Md€ pour T25 à 37,8 Md€ pour T20 (37,3 Md€ pour T30). Cela représente le coût annuel internalisé en 2050 résultant des mesures prises (signal-prix notamment) sur l'ensemble de la période. Ce montant devient ensuite permanent, toutes choses égales par ailleurs, mais en principe n'augmente plus.

C'est le modèle Poles de la société Enerdata[9] qui a été utilisé pour l'élaboration de ces scénarios qui déterminent une trajectoire de réduction d'émission rendue possible par l'application d'un signal-prix.

Ces trois scénarios diffèrent par le rythme de baisse imposé aux émissions et notamment par leur niveau atteint en 2020, année cruciale dans les négociations internationales sur le climat. Le scénario T20 respecte une contrainte de réduction d'émission de 20 % en 2020 par rapport au niveau de 1990. Pour le scénario T25, la baisse est de 25 % et pour le scénario T30 elle est de 30 %.

Les évaluations de CENP seront basées sur le scénario T30, mais le scénario T25 pourrait également être utilisé comme variante. En revanche, le scénario T20 semble devoir être écarté en raison d'une action excessivement retardée et de la concentration de coûts annuels très élevés au cours des 20 dernières années (2030-2050).

Dette écologique, coût global à payer

Le coût global rattaché au scénario T30 se rapproche de la notion de dette écologique. Cette dernière totalise l'ensemble des coûts qu'il faudrait supporter pour revenir en dessous d'une norme écologique donnée. C'est en quelque sorte une évaluation, actualisée sur la base des techniques actuelles, de la somme des CENP accumulés à partir du moment où la pression sur la nature (émissions de GES trop élevées) s'est révélée trop forte pour que celle-ci puisse l'absorber sans dommages et préserver son état initial.

Ces CENP n'ont pas fait l'objet, dans le passé, d'une évaluation et d'un enregistrement comptable, année après année, pour les différents milieux naturels. C'est pourquoi, les exercices, comme celui du rapport « Trajectoires », qui procèdent à l'évaluation du coût total de reconstitution d'un actif naturel ou de résorption d'un niveau de pollution donné sont particulièrement précieux.

Cependant, la valeur de 437 Md€ du scénario T30, comme celle des deux autres scénarios ne peut pas vraiment être considérée comme une estimation de la dette écologique sur le champ des équilibres climatiques. Le terme plus neutre de coût global à payer est sans doute préférable. En effet, ce montant a été calculé sous l'hypothèse que la quantité totale d'émission à réduire entre le niveau atteint aujourd'hui et celui du facteur 4 entraînait des coûts supplémentaires, de la première à la dernière unité d'émission éliminée. Dit autrement, il n'a pas été tenu compte d'une certaine quantité d'émission amenée à être éliminée du fait des mesures déjà mises en œuvre (sans coûts supplémentaires). Ce point est discutable car certains scénarios, notamment ceux établis dans le cadre de l'UE, prévoient une certaine réduction d'émissions, même sans effort renforcé.

Forme des coûts à supporter pour l'atteinte de l'objectif facteur 4

Concernant la nature des coûts à supporter pour atteindre le facteur 4, le rapport du comité de Perthuis précise qu'il s'agit du « coût d'abattement total associé à [l'une] des trajectoires coût-efficaces » retenue. Il est aussi précisé qu'« il s'agit ici du coût direct d'abattement, à savoir les coûts d'investissement et d'ajustement nécessaires pour atteindre un niveau donné de réduction, sans tenir compte des bouclages macroéconomiques [...] ». Ces précisions sont importantes et paraissent légitimer l'utilisation de ces évaluations pour la mesure de coûts écologiques non payés. Ces derniers peuvent en effet être estimés sur la base des mesures qui auraient pu être entreprises pour limiter les émissions au niveau requis, mais sans intégrer l'ensemble des effets de rétroactions macroéconomiques (utilisation des recettes générées par une taxe carbone par exemple).

La contrainte carbone du modèle Poles se matérialise par un prix du carbone qui est incorporé au prix de l'énergie supporté par le consommateur final. L'application de ce même prix à tous les secteurs d'activité a deux conséquences :

– une modification de la demande dans chaque secteur d'activité et une variation de la répartition de la demande entre les différentes formes d'énergie en fonction de son élasticité par rapport aux prix ;

– une modification du recours à différentes technologies moins émettrices : technologies de demande « très basses émissions » pour les transports et le bâtiment, énergies renouvelables, production d'électricité centralisée dont l'énergie nucléaire, production d'hydrogène et options de capture et stockage du CO_2.

[9] Enerdata est un cabinet d'études et de conseil situé à Grenoble qui est spécialisé dans le secteur de l'énergie (pétrole, gaz, charbon, énergie, renouvelable et carbone).

Définition des trajectoires associées aux émissions de GES

Préalablement à l'estimation de CENP, il est nécessaire de construire un scénario de réduction des émissions de GES pour parvenir à la contrainte facteur 4 d'après les dernières données d'émission connues.

Quantité totale d'émission à éliminer

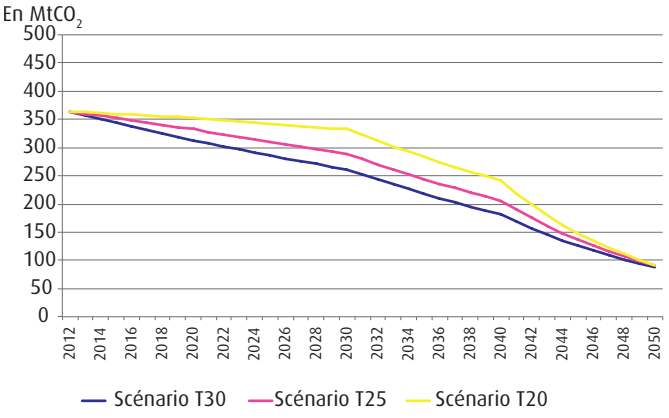
Le facteur 4 consiste en une division par 4 du niveau des émissions françaises de GES atteint en 1990. Ce niveau était alors de 556 millions de tonnes équivalents CO_2 ($MtCO_2e$). La cible facteur 4 est donc de 139 $MtCO_2e$ en 2050. Les dernières données du Citepa (rapport Cnucc de mars 2013) font état d'un niveau d'émission de 486 Mt[10] en 2011, dernière année connue. Pour parvenir à l'objectif, il reste 347 Mt à éliminer en 39 années.

Détermination d'un profil de réduction des émissions

Il convient de distinguer les émissions de CO_2 sur lesquelles le rapport « Trajectoires » a proposé trois profils (le T30 étant retenu ici) et celles des autres GES qui obéissent à des logiques différentes.

Émissions de CO_2

Trajectoires d'émissions de CO_2 en vue du facteur 4



Source : SOeS, d'après le rapport du comité de Perthuis (2011)

Le graphique ci-dessus décrit les trois trajectoires facteur 4 selon les trois scénarios envisagés. Le scénario T30 décrit une baisse quasi-linéaire des émissions de CO_2, impliquant l'élimination d'une quantité totale d'émission de CO_2 de l'ordre de 280 Mt entre 2012 et 2050. Cela représente une diminution annuelle de 7 Mt si l'on retient un profil linéaire, ce qui n'est pas tout à fait le cas du scénario T30.

Dans le rapport « Trajectoires », les émissions projetées portent uniquement sur le CO_2 qui couvre quatre cinquièmes du total des GES. Il convient donc d'ajouter les autres GES, principalement le méthane (CH_4) et le protoxyde d'azote (N_2O), gaz émis majoritairement par les activités agricoles.

[10] *On parlera désormais en Mt pour alléger l'écriture, mais il s'agit bien de $MtCO_2e$, unité d'agrégation des six gaz à effet de serre direct sur la base du pouvoir de réchauffement climatique à 100 ans de chacun d'entre eux.*

Émissions de GES autres que le CO_2

Pour les coûts de réduction des autres GES que le CO_2, on se réfèrera à l'étude réalisée en 2010 par l'IIASA[11] qui évalue les potentialités de réduction des émissions de GES hors CO_2 et les coûts associés pour les différents pays de l'UE.

Pour la France, l'IIASA évalue le potentiel de réduction maximal à environ 40 millions de tonnes d'équivalents CO_2 entre 2010 et 2030. Cela inclut, d'une part une baisse de 9 Mt des émissions sur la base des conditions présentes (scénario baseline), d'autre part un potentiel de réduction supplémentaire de 31 Mt reposant sur la mise en œuvre de coûts renforcés.

Réduction totale entre 2012 et 2050 sur l'ensemble des GES

D'après les trajectoires retenues, aussi bien par le rapport « Trajectoires » pour le CO_2 que par l'IIASA pour les autres GES, la réduction totale pourrait atteindre 320 $MtCO_2e$ sur l'ensemble des GES. Cette baisse conduirait à un niveau d'émission de près de 170 Mt en 2050, ce qui reste trop élevé par rapport à l'objectif « facteur 4 ». Comme une division par quatre des émissions paraît aujourd'hui hors de portée pour les GES hors CO_2, la contrainte annuelle sur les émissions de CO_2 sera légèrement renforcée : de 7 Mt à 8 Mt supplémentaires à éliminer chaque année. Cela conduit à une baisse totale de 310 Mt[12] entre 2012 et 2050.

Au total, la baisse d'émission sur l'ensemble des GES atteindrait 350 $MtCO_2e$. Une grande partie de cette réduction est rendue possible par le recours à des mesures plus coûteuses. Cela permettrait de respecter le niveau requis du facteur 4 en 2050.

[11] *International Institute for Applied Systems Analysis*

[12] *Les chiffres sont arrondis à la dizaine de millions.*

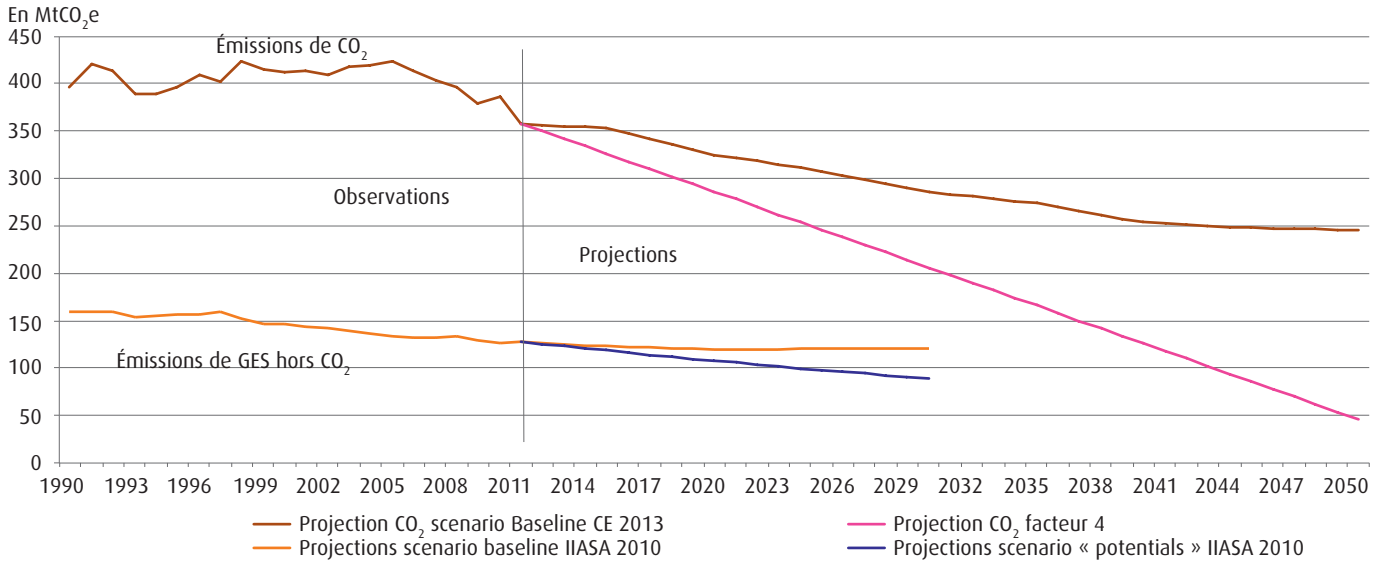
Les scénarios prospectifs du Medde et de la Commission européenne

Un exercice de projection portant sur les consommations d'énergie et les émissions de GES a été réalisé en 2011 par la Direction générale énergie-climat (DGEC) du ministère en charge du Développement durable. Cet exercice confronte deux scénarios à un horizon à 2020/2030 : le premier dénommé « pré-Grenelle » est un scénario au fil de l'eau qui exclut l'impact des mesures du Grenelle environnement et le second dit « AMS Objectifs » intègre l'impact des mesures des lois Grenelle 1 et 2. Cet exercice a fait l'objet d'une large consultation ministérielle et au-delà (industriels, syndicats, ONG...). Le scénario tablant sur la mise en œuvre du Grenelle projette une baisse des émissions de GES de 180 $MtCO_2e$ entre 1990 et 2030 (-32 %). Pour le scénario pré-Grenelle, le rapport de la DGEC ne donne d'indications que pour les émissions de GES de l'énergie (70 % de l'ensemble). Ces dernières sont projetées à la hausse sur toute la période 2010-2030.

Dans le cadre du plan climat-énergie, la Commission européenne (CE) a réalisé en 2013 des scénarios à l'horizon 2050 portant notamment sur la consommation d'énergie et les émissions de GES. Le scénario appelé « Baseline with Adopted Measures » correspond à un scénario au fil de l'eau. Les projections pour la France de ce scénario sont en phase avec l'exercice conduit par le Medde.

Réduction d'émission nécessitant des efforts supplémentaires par rapport à la situation présente

Émissions de GES en France : évolution observée entre 1990 et 2011, projection entre 2012 et 2050



Source : Citepa (observations), Commission européenne, IIASA, calculs SOeS

La lutte contre l'effet de serre n'a pas démarré aujourd'hui. Il existe en effet des processus en cours (technologies, normes, organisations) qui ont déjà permis de réduire les émissions de GES en France et dont les effets vont se poursuivre dans les années futures. C'est pourquoi, il faut tenir compte dans le calcul de la contrainte annuelle des émissions qui seront amenées à baisser sans effort supplémentaire. Pour cela, il sera fait appel à un scénario au fil de l'eau qui envisage la trajectoire des émissions futures en tenant compte des dernières normes, contraintes et technologies en vigueur, sans prévoir leur renforcement dans le futur. Deux types d'exercice méritent d'être soulignés : celui entrepris en 2011 par le ministère en charge du Développement durable et les projections établies par la Commission européenne (CE) qui seront mobilisées ici car plus complètes.

Le scénario « baseline » établi par la CE conduit à une baisse des émissions de CO_2 entre 2000 et 2050 de l'ordre de 40 %. C'est moins d'une division par deux de leur quantité en cinquante ans. Le taux de variation annuel moyen est de -1 %, ce qui est proche de la tendance calculée sur les dix dernières années. En revanche, le taux de variation annuel n'est pas constant : il varie entre -0,2 % et -1,6 % par sous-période de cinq ans. Sur la première période quinquennale de projection (2010-2015), il est de -0,4 %, soit une réduction annuelle plus faible que la tendance des dix dernières années. En appliquant les taux de variations annuels retenus dans le scénario de la CE à la dernière valeur estimée par le Citepa (2012), puis aux valeurs projetées, on obtient une quantité de CO_2 réduite de 110 Mt entre 2012 et 2050.

Les projections volontaristes (courbes violette et bleue sur le graphe ci-dessous) portant sur les émissions de CO_2 et sur les autres GES permettent d'atteindre le facteur 4 en 2050. Même si la projection de l'IIASA pour les GES hors CO_2 s'arrête en 2030, on admettra que ces émissions ne repartent pas à la hausse après. Les deux trajectoires au fil de l'eau (courbes orange et marron) permettent d'effectuer le tiers du chemin à parcourir. Cela ne signifie pas que 120 Mt sont amenées à être éliminées « gratuitement ». Il s'agit de bénéfices d'investissements passés qui sont désormais inclus dans les transactions économiques courantes et dont les effets positifs sont amenés à se poursuivre au cours des années futures. Les coûts assumés sont supposés se renouveler sous forme de maintien ou de renouvellement de différents équipements, technologies ou modes de production adoptés au cours des dernières années.

Définition d'une contrainte annuelle

Émissions de CO_2

Pour le CO_2, la quantité d'émission à éliminer entre 2012 et 2050 et exigeant la mise en place de nouvelles mesures coûteuses chaque année s'élève à 200 Mt (310 - 110).

Cela exige d'éliminer 5 Mt chaque année avec des coûts croissants.

Émissions de GES hors CO_2

Pour les émissions de GES hors CO_2, l'IIASA a évalué le potentiel de réduction maximal, au-delà des 9 Mt réduites sans coût supplémentaire, à 31 Mt. Cette quantité à éliminer qui suppose la mise en œuvre de coûts annuels croissants correspond à une contrainte annuelle de près d'1 Mt.

Sur l'ensemble des GES, les coûts supplémentaires devraient porter sur 230 Mt d'équivalent CO_2 (200 + 30).

Tableau récapitulatif

En $MtCO_2e$	CO_2	Autres GES	Total GES
Quantité à éliminer pour atteindre le facteur 4 en 2050	310	40	350
Contrainte annuelle	*8*	*1*	*9*
Quantité éliminée sans coût supplémentaire (d'après CE)	110	10	120
Quantité annuelle réduite	*3*	*0,2*	*3*
Quantité éliminée avec coûts annuels croissants	200	30	230
Contrainte annuelle	*5*	*0,8*	*6*

Coût unitaire à appliquer aux émissions à éliminer

Une fois connues les quantités annuelles à éliminer, il faut avoir une idée précise du coût à leur appliquer. Le rapport « Trajectoires » a opté, comme cela est couramment pratiqué, pour un prix du carbone. Il s'agit du coût marginal de la tonne de CO_2, c'est-à-dire le coût qui doit être supporté pour réduire la quantité d'émission d'une tonne supplémentaire. Ce prix croît à mesure que les quantités éliminées augmentent car les procédés utilisés à cette fin sont de moins en moins performants. Dit autrement, les rendements sont décroissants.

Par rapport à la valeur tutélaire du carbone (VTC) proposée en 2008 par le CAS qui variait de 32 € en 2010 à 200 € en 2050, les 3 scénarios du rapport du comité de Perthuis s'appuient sur une valeur carbone plus élevée en fin de parcours : proche de 300 €/tCO_2 pour les scénarios T25 et T30, proche de 400 €/tCO_2 pour le scénario T20. En revanche, la valeur de départ (2012) est plus faible dans le rapport « Trajectoires » que dans la VTC sauf pour le scénario T30. Pour ce dernier scénario, le coût total de la politique de réduction des émissions est plus élevé que celui résultant de la VTC.

Les préconisations du rapport du CAS (commission Quinet) ne résultaient pas de l'application d'un modèle particulier, mais d'une analyse basée sur les résultats de plusieurs modèles et de travaux antérieurs (commission Boiteux).

Les scénarios « coût-efficaces » utilisés dans le rapport « Trajectoires » ont été construits avec le modèle Poles. On ne connaît pas les parts dans le coût global de réduction des différents mécanismes d'élimination des émissions du modèle. De ce fait, il ne sera pas possible d'effectuer un partage du coût entre les investissements dans des technologies sobres en carbone suscités par la mise en œuvre du signal-prix et les modifications que celui-ci entraîne dans la consommation des produits. Lorsque l'on passera à l'estimation des CENP, il ne sera pas possible de les décomposer directement selon les composantes de la demande finale par produits. Cela pourrait néanmoins être tenté ultérieurement avec une approche de type Namea[13].

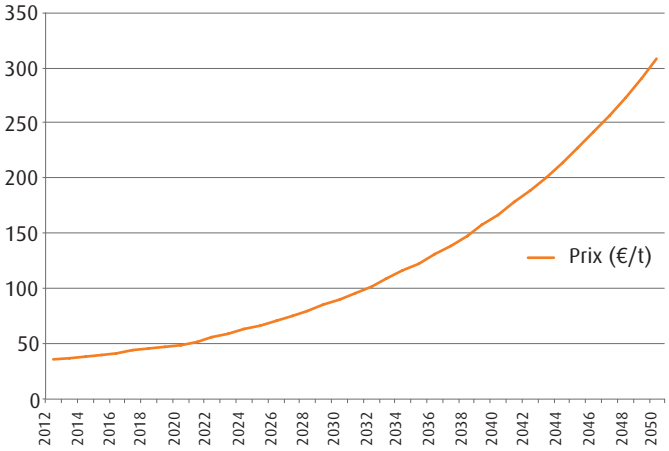
La courbe représentant la trajectoire du prix du carbone a été reconstituée ci-après d'après la chronique retenue dans le rapport « Trajectoires » en se limitant au profil du scénario T30.

Cette courbe correspond à l'évolution du coût marginal de la tonne de CO_2 entre 2012 et 2050. Ce coût est susceptible de s'accroître à chaque nouvelle tonne de CO_2 éliminée, mais il existe en réalité différents paliers représentatifs d'une technologie ou d'un procédé disponible, permettant d'éliminer une certaine quantité d'émission au même coût unitaire. C'est pourquoi, au cours d'une même année, le prix reste constant alors même que plusieurs millions de tonnes de CO_2 sont censés être éliminées. Si l'emploi des techniques disponibles est de nature à faire varier à court terme le coût marginal, que ce soit pour une entreprise, une branche d'activités et même au niveau de l'économie nationale, un tel niveau de précision n'est pas disponible. On dispose en fait d'un coût marginal constant en cours d'année qui peut être assimilé à la moyenne des coûts marginaux qui se formeraient dans les différents secteurs de l'économie avec la mise en place du signal-prix.

Le prix du CO_2 fixé à 35 €/t en 2012 est revalorisé annuellement de 4 % entre 2013 et 2020, puis de 6,3 % par la suite pour atteindre 303 €/t en 2050.

Chaque année entre 2012 et 2050, un prix du carbone est associé à une quantité de CO_2 à réduire, en moyenne de 7 Mt. On aura donc un nouveau prix du carbone pour chaque nouvelle tranche de 7 Mt à éliminer, même si dans le calibrage réalisé par le modèle Poles la quantité annuelle n'est pas constante. La première tranche 7 Mt à éliminer a un coût unitaire de 35 €/t, la suivante de 36 €/t et ainsi de suite.

Évolution du prix du carbone cohérente avec l'objectif facteur 4



Source : Poles ; graphique repris du rapport du comité de Perthuis (2011), valeurs recalculées par le SOeS

[13] *National Accounting Matrix Including Environmental Accounts. Méthode permettant de relier les pressions environnementales à l'activité économique des branches (et aux utilisations des ménages), mais aussi à la demande finale des produits.*

Évaluation des coûts écologiques non payés

Ces coûts seront évalués pour l'année 2012, puis pour les années 2011 et 2010.

Évaluation pour l'année 2012

a) Coût des émissions de CO_2 non contenues

En 2011, dernière année connue, les émissions de CO_2 se sont élevées en France à 358 Mt. Cependant, dans son rapport national d'inventaire (format Secten) publié en avril 2013, le Citepa fournit une estimation préliminaire pour 2012. L'évolution des émissions de CO_2 est ainsi estimée à +1,1 % pour la France métropolitaine (97 % des émissions nationales).

Q_{2012C} = 358 x 1,011 = 362 MtCO_2

Or, les émissions de CO_2 doivent être réduites de 8 Mt pour se situer sur la trajectoire facteur 4. Une quantité de 12 Mt n'a pu être contenue (évitée) pour se placer sur cette trajectoire.

Sur ces 12 Mt, la première tranche de 7 Mt doit être valorisée à 35 € et les 5 Mt suivantes à 36 € suivant l'évolution de la courbe de coût marginal du CO_2 *(cf. graphique supra)*.

$CENP_{2012}$ = 7 x 35 + 5 x 36 = 425 millions d'euros

b) Autres GES

Pour les émissions de GES hors CO_2, l'estimation préliminaire du Citepa table sur une baisse de 3 % pour les émissions de CH_4 et de N_2O en France métropolitaine.

Q_{2012hC} = 128 x 0,97 = 124 MtCO_2e

La contrainte annuelle qui a été définie suivant le scénario « réductions potentielles » de l'IIASA est de 1 Mt par an. Il n'y a pas de CENP additionnels au titre de ces émissions puisque la baisse estimée est supérieure à celle exigée. On est en fait en présence d'une situation de CENP négatifs, correspondant à un début de réduction de dette écologique. Le coût marginal de réduction proposé par l'IIASA est de 10 €/t jusqu'à 8,6 Mt éliminées (au-delà, le coût unitaire augmente rapidement). En appliquant cette valeur à la quantité éliminée au-delà de la contrainte annuelle, on obtient une réduction de l'ordre de 30 M€ de la dette relative aux GES hors CO_2.

c) Ensemble des GES émis en 2012

La situation est contrastée. D'un côté, la dette écologique s'accroît au titre des émissions de CO2 (+4 Mt) et de l'autre elle diminue, mais beaucoup plus modérément, au titre des autres GES (-4 Mt). Le coût marginal de réduction sensiblement plus élevé sur le CO_2 que sur les autres GES (du moins pour les premiers efforts de réduction) fait la différence. On obtient un accroissement de dette de l'ordre de 400 M€ (arrondi de 425 - 30) pour l'ensemble des GES émis en 2012.

Il paraît intéressant d'appliquer le même type d'évaluation aux deux années précédentes, 2011 et 2010, pour lesquelles on dispose de données d'inventaire.

Le programme de réduction des émissions et les scénarios envisagés dans le rapport « Trajectoires » démarrent en 2012, mais les enseignements qu'il apporte peuvent être utiles pour l'estimation de CENP pour les années antérieures. Il sera procédé à une nouvelle évaluation de CENP en 2011, puis 2010, en raisonnant comme si ces deux années respectives représentaient le point de départ du scénario T30 du rapport « Trajectoires ».

Évaluation de CENP pour les années 2011 et 2010

a) Année 2011

Coût des émissions de CO_2 non contenues

Elles ont diminué de 29 Mt entre 2010 et 2011. C'est la plus forte baisse enregistrée depuis 1990.

Il n'y a pas de CENP additionnels car la quantité réduite dépasse nettement celle exigée.

En revanche, cette baisse d'émission entraîne une diminution du coût global à payer (CGP).

Pour l'estimer, on calcule le coût d'élimination de 26 Mt de CO_2 (plutôt que 29 Mt), en considérant que 3 Mt ont été éliminées sans coût supplémentaire. En s'appuyant sur l'évolution du coût marginal du scénario T30, le coût global de ces 29 Mt est estimé à 990 M€, ce qui réduit d'autant le CGP pour les années suivantes.

Autres GES

Les émissions ont crû d'1 Mt en 2011, alors que la trajectoire visée prévoit une baisse annuelle de 1 Mt. La différence égale à 2 Mt représente un coût peu élevé, soit 20 M€.

Ensemble des GES

Comme pour le cas précédent, la situation observée sur le CO_2 est déterminante. Malgré l'existence de CENP sur les GES hors CO_2, la dette écologique décroît de près d'1 Md€ (précisément 970 M€, soit 990 - 20).

Remarques

Les émissions de CO_2 ont fortement diminué en 2011, conduisant à des CENP additionnels nuls et à une diminution de dette écologique. Pour autant, il serait présumé d'affirmer que l'économie se situe déjà sur une trajectoire vertueuse se traduisant par la mise en place de nouveaux coûts effectivement supportés par les acteurs économiques. L'estimation préliminaire du Citepa pour les émissions de GES en 2012 ne confirme d'ailleurs pas une telle orientation.

Dans le cas d'une amélioration de l'état d'un milieu naturel (ici une baisse des émissions de GES en vue de la préservation des équilibres climatiques), conduisant à une réduction de dette écologique, il faut distinguer trois cas :

- La baisse d'émission est la conséquence de nouveaux investissements ou de modifications dans les prix relatifs : on peut parler de coûts effectivement payés en lieu et place de CENP. Ces nouveaux coûts, à la différence des CENP qui sont imputés, sont présents dans les transactions économiques courantes et participent à la reformation des équilibres économiques en influant sur les investissements, la consommation de différents produits et au final le PIB.
- La diminution provient pour l'essentiel de phénomènes d'ordre climatique (hiver plus doux). On considère que l'économie n'est pas à l'origine du phénomène et il n'y a pas de nouveaux coûts payés à considérer en contrepartie de la baisse de dette écologique.
- La baisse est due à une production ralentie dans certains secteurs du fait de la conjoncture. On considère qu'il s'agit d'un cas de coûts payés car la diminution (ainsi que l'évaluation) des CENP peut passer par la réduction ou l'abstention totale de certaines activités économiques, même si cela revêt un caractère subi ou forcé.

Dans les deux derniers cas la diminution de CENP risque d'être provisoire car aucun coût permanent n'a été transmis aux activités économiques ou aux ménages afin de réduire durablement les émissions. Si les conditions climatiques favorables telle année ne perdurent pas ou si la reprise économique s'installe, il est à craindre un retour à la case départ. Le montant de la dette devrait alors repartir à la hausse, ce qui peut conduire à des fluctuations importantes d'une année sur l'autre.

b) Année 2010

Coût des émissions de CO_2 non contenues

Les émissions de CO_2 ont crû de 8 Mt par rapport à 2009.

Les CENP portent sur 16 Mt et se décomposent en deux parties :

– la quantité à éliminer pour respecter la trajectoire : 8 Mt ;

– la quantité qui s'est finalement ajoutée au niveau de 2009 : 8 Mt également.

Le prix du CO_2 est de 35 €/t pour les 7 premiers Mt éliminés, à 36 €/t pour les 7 Mt suivants et à 38 €/t pour les 2 derniers Mt.

$CENP_{2010}$ = 7 x 35 + 7 x 36 + 2 x 38 = 573 M€.

Autres GES

Les émissions de GES hors CO_2 ont baissé de 2 Mt entre 2009 et 2010. Il n'y a donc pas de CENP additionnels puisque cette évolution dépasse de 1 Mt celle escomptée. La diminution de dette écologique est évaluée à 10 M€.

Ensemble des GES

Les CENP sont évalués à 560 M€ pour l'ensemble des GES en 2010.

Synthèse des résultats

Pour un suivi annuel, par exemple sous la forme d'un tableau de bord, plusieurs critères semblent importants à préciser :

– le niveau de variation annuelle des émissions de GES ;

– le niveau d'émissions correspondant à de nouveaux CENP ;

– la valorisation des CENP éventuels pour la dernière année connue ;

– la variation de la dette écologique ou du coût global à payer.

Les mesures de CENP effectuées sur ces trois années sont intéressantes dans la mesure où elles s'appliquent à trois situations différentes : stabilité globale des émissions dans le premier cas, baisse d'émissions au-delà du nécessaire dans le deuxième et hausse d'émissions dans le dernier. Les trois situations annuelles ne peuvent être agrégées car chacune des trois années représente le point de départ de la trajectoire de réduction d'émission de GES, sachant que l'année de départ dans le rapport du comité de Perthuis est 2012. Ces trois années constituent en quelque sorte une remise à plat des comptes : connaissant approximativement le coût global à payer pour atteindre le facteur 4, on cherche à déterminer dans quelle situation de départ on se serait placé au cours de l'une de ces années, en fonction de la trajectoire qui a été tracée : diminution de la charge globale (CENP négatifs) ou au contraire ajout de nouveaux CENP avec des émissions annuelles de GES supérieures à celles escomptée. Ainsi, les CENP mesurés en 2012 ne sont pas strictement la suite de ceux mesurés en 2011 et 2010.

Synthèse des résultats

Année	Variation annuelle des émissions (en $MtCO_2e$)	Émissions de GES/Trajectoire requise F4	Montant annuel estimé de CENP (en M€)	Sens de variation de la dette écologique
2010	+6	Trop élevées	560	Augmentation
2011	-28	Baisse + forte que trajectoire requise	0	Diminution (-970 M€)
2012	0*	Trop élevées	400	Augmentation

* *Calculs SOeS, d'après estimation préliminaire du Citepa*

Limites, perspectives

Les évaluations qui ont été présentées ont surtout une vertu expérimentale et pédagogique : expliquer comment mesurer des coûts écologiques non payés à partir d'une situation concrète avec les outils et données en présence. Les évaluations données dans les exemples précédents représentent des ordres de grandeur qui pourront être affinés avec des données plus précises et la recherche de collaborations avec des organismes spécialisés.

Il reste aussi à formaliser le schéma comptable permettant de décrire l'enregistrement des différents flux (CENP/nouveaux coûts payés) pour chaque type de situation et montrer comment ces écritures modifient le résultat de différents agrégats des comptes nationaux. Des indicateurs économiques de développement durable pourront en résulter.

Il reste cependant un point qui mérite discussion. Le calcul des CENP s'est basé sur les émissions relevées sur le territoire national et non sur celles correspondant à l'empreinte carbone de la demande finale nationale (résidente). L'empreinte carbone comptabilise, en plus des émissions de GES observées sur le territoire, celles générées à l'étranger pour la fabrication des produits importés et exclut les émissions intérieures à l'origine des produits exportés.

Les deux optiques sont nécessaires et répondent à des objectifs différents et complémentaires, tout en soulevant des problèmes de faisabilité et de difficultés croissantes en l'absence d'un programme coordonné de calcul des CENP pour l'ensemble du monde.

Dans l'optique de rattacher les CENP à la demande finale nationale de l'économie, il faudrait les estimer sur la base de l'empreinte carbone. Cependant, l'objectif de réduction des émissions tel qu'il a été défini en France se base exclusivement sur les émissions sur le territoire national, rien n'étant prévu pour les émissions de GES à l'étranger attribuables aux importations françaises. Par ailleurs, aucun objectif ne se base sur les émissions mesurées par l'empreinte carbone dans les négociations internationales sur le climat, les données nécessaires faisant défaut pour disposer d'une telle mesure pour l'ensemble des pays.

Une baisse des émissions sur le territoire conforme à l'objectif facteur 4 pourrait être en partie contrebalancée par une hausse des émissions liées aux importations. Mais la valorisation des émissions générées par les importations pose question. Convient-il de leur appliquer la même valeur de coût unitaire de réduction qu'aux émissions sur le territoire ou doit-on rechercher une valeur plus conforme aux caractéristiques économiques des pays exportant vers la France ?

Les questions sont nombreuses et les informations requises ne sont pas forcément disponibles. À très court terme, il serait au moins possible de se prononcer sur l'existence de CENP sur la base de l'empreinte carbone, mais sans les chiffrer. Si l'on reprend le tableau précédent, on pourrait ajouter une colonne précisant la variation des émissions de GES basée sur l'empreinte carbone. Cela permettrait d'apprécier la pertinence du message apporté par la mesure des CENP sur la base des émissions intérieures[14].

Au-delà de la possibilité d'évaluer les CENP sur la base de l'empreinte carbone, il paraît aussi important d'effectuer un suivi, si possible annuel, des facteurs de variation des émissions. On devrait ainsi pouvoir mesurer, dans la forte baisse d'émission intervenue en 2011, la part imputable à de nouveaux coûts permanents qui ont été consentis par les acteurs économiques. Ce besoin de suivi est clairement exprimé dans le récent rapport du CGEDD sur le facteur 4 qui recommande la création d'un « observatoire permanent du facteur 4 ». Cet observatoire rassemblerait « les données d'observation des émissions, les produits de la veille technologique, et une capacité d'évaluation technico-économique qui fournisse aux décideurs publics, mais aussi privés, des données sur les rapports « coûts/avantages carbone » des possibilités techniques connues à un moment donné ». Les travaux d'estimation de CENP en fonction de l'évolution des émissions de GES en France pourraient contribuer à un tel observatoire.

[14] *On dispose d'une estimation provisoire de l'empreinte carbone pour 2010.*

Les coûts écologiques non payés liés à la pollution de l'air

Introduction : objectifs

Au-delà de la perturbation des équilibres climatiques, l'atmosphère peut voir sa qualité se dégrader à la suite d'émissions dans l'air de substances autres que les GES.

Contrairement au changement climatique, les causes de la pollution atmosphérique se situent à l'échelle locale et régionale, même s'il existe des phénomènes de diffusion d'une région à l'autre.

Dans le cadre des coûts écologiques non payés, l'objectif consiste à mesurer le coût annuel d'élimination de la pollution atmosphérique qui permettrait d'atteindre des objectifs réglementaires ou conseillés par des organismes compétents, et actuellement non respectés.

La difficulté réside dans le choix des substances affectant la qualité de l'air à prendre en compte et de l'objectif à atteindre. Il est en effet pratiquement impossible d'aboutir à une restauration complète de l'atmosphère se traduisant par une qualité de l'air n'entraînant aucun dommage sur la santé ou sur les écosystèmes.

De nombreuses études d'impact mesurent le coût des dommages résultant d'un niveau donné de qualité de l'air. Ces études déterminent notamment les niveaux de mortalité et de morbidité associés à des niveaux de concentration dans l'air de différentes substances. Des méthodes statistiques (valeur statistique de la vie humaine) et des calculs des impacts économiques permettent ensuite de donner une valeur monétaire aux dommages dus à un certain niveau de pollution atmosphérique[15]. Ces approches, aussi importantes soient-elles, sortent de la problématique des coûts écologiques non payés et de l'ajustement de certains agrégats des comptes nationaux et ne seront pas mobilisées. Comme précédemment, l'angle abordé porte sur les coûts permettant de réduire les émissions dans l'air afin d'atteindre un objectif, en général édicté par les institutions publiques, en matière de qualité de l'air. Cet objectif peut s'interpréter comme la définition d'un état de référence passé en matière de qualité de l'air qui n'a pu être préservé au cours du temps.

Champ de la pollution atmosphérique retenu ici

Les données et les outils disponibles ne permettront pas de couvrir toutes les substances affectant la qualité de l'air. Ainsi, les métaux lourds et les polluants organiques persistants (HAP, PCB) ne seront pas pris en compte. L'attention sera portée sur une liste de substances ayant des impacts négatifs à la fois sur la santé humaine et sur les écosystèmes sur le plan de l'acidification, de l'eutrophisation et de la pollution photochimique.

Ces substances sont les particules alvéolaires d'un diamètre inférieur à 2,5 µm ($PM_{2,5}$), le dioxyde de soufre (SO_2), les oxydes d'azote (NOx), l'ammoniac (NH_3) et les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM). Certaines d'entre elles (NOx, COVNM) sont des précurseurs de l'ozone troposphérique, gaz susceptible d'avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. Les émissions de dioxyde de soufre (SO_2), d'oxydes d'azote (NOx) et d'ammoniac (NH_3) sont responsables de l'acidification et de l'eutrophisation.

Ces cinq substances sont particulièrement réglementées depuis plusieurs décennies à travers la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière à longue distance (CLRTAP) élaborée dans le cadre de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-ONU). Ces réglementations fixent des plafonds d'émission à respecter à une date donnée. Des travaux d'évaluation sont menés régulièrement, notamment dans le cadre de stratégies élaborées par l'UE.

Certains de ces travaux sont conduits par l'Institut international d'analyse des systèmes appliqués (IIASA). L'IIASA a développé un programme de recherche sur la réduction de la pollution atmosphérique et mène des études régulières, notamment à la demande de la Commission européenne, sur l'évaluation des coûts requis pour améliorer la qualité de l'air.

Les éléments disponibles pour une estimation de CENP sur le champ de la pollution atmosphérique ne sont pas de même nature (les modèles utilisés diffèrent) que ceux qui ont été utilisés pour l'estimation de CENP liés à la réduction des émissions de GES. Ainsi, il ne sera pas possible de procéder à une agrégation de CENP sur l'ensemble des émissions dans l'air y compris celles portant sur l'effet de serre. Cependant, certains travaux récents de l'IIASA contribuent à élargir le champ d'évaluation (GES + polluants atmosphériques locaux).

Quelle norme adopter pour la mesure de CENP ?

Avant de s'intéresser aux évaluations disponibles en matière de coût, il est important de dresser un rapide panorama des accords et réglementations existant sur la pollution atmosphérique locale concernant les substances visées plus haut. Ce tour d'horizon sera utile avant de se fixer un (ou plusieurs) seuil(s) à partir desquels des coûts écologiques non payés peuvent être estimés. Dans le domaine de la pollution atmosphérique, il n'existe pas de norme comparable au facteur 4, sur laquelle il serait possible de s'appuyer afin d'évaluer un montant de CENP encouru à une date donnée.

Les différents textes en vigueur au niveau national ou international fixent des normes d'émission ou de concentration à ne pas dépasser en vue de réduire les atteintes à la santé humaine ou aux écosystèmes. L'examen de ces normes sera utile pour la détermination ultérieure d'un montant de dette écologique.

Accords au niveau international

Les protocoles ou accords ne visant qu'une seule des substances visées seront laissés de côté. En revanche, le protocole de Göteborg (PG) porte à l'origine sur quatre de ces substances et désormais sur cinq depuis l'inclusion en 2012 des $PM_{2,5}$.

Signé en 1999, mais entré en vigueur en 2005 (26 pays, dont la France l'ayant ratifié), le PG fixe des plafonds d'émission afin de réduire les impacts de la pollution atmosphérique sur la santé et l'environnement.

En mai 2012, des amendements au PG ont été adoptés en vue de réduire davantage les impacts sur la santé et l'environnement. De nouveaux engagements de réduction des émissions pour les quatre polluants cités ainsi que pour les $PM_{2,5}$ ont été définis à l'horizon de 2020.

Ces engagements sont pour la France une réduction du niveau d'émission entre 2005 et 2020 de 55 % pour le SO_2, de 50 % pour les NOx, de 43 % pour les COVNM, de 4 % pour le NH3 et de 27 % pour les $PM_{2,5}$.

[15] *Voir la publication du CGDD-SOeS, 2013. « Pollution de l'air et santé : le coût pour la société »,* Le point sur, *n° 175, octobre 2013, 4 p.*

Normes ou stratégies au niveau européen

a) Directive « NEC » sur les plafonds d'émission dans l'air

La directive NEC (National Emissions Ceilings), entrée en vigueur en 2001, vise à limiter les émissions de polluants acidifiants, eutrophisants et précurseurs de l'ozone. Elle porte sur les mêmes substances que le PG. Les valeurs limites d'émission qui ont été définies pour la France sont un peu plus exigeantes que celles du PG avant sa révision de 2012.

Tableau de synthèse

France métropolitaine	Protocole de Göteborg : VLE* en 2010 (en kt)	Directive NEC : VLE en 2010 (en kt)	Protocole de Göteborg amendé (% de réduction 2020/2005)	VLE 2020 calculée d'après les % du Protocole de Göteborg amendé
SO_2	400	375	-55	210
NOx	860	810	-50	715
NH_3	780	780	-4	635
COVNM	1 100	1 050	-43	702
$PM_{2,5}$	Hors protocole	Hors directive	-27	222

* *VLE : valeur limite d'émission*

Source : Citepa, calculs SOeS

b) Stratégie thématique européenne sur la pollution atmosphérique

La Commission européenne a élaboré en 2005 une stratégie à long terme sur la réduction de la pollution atmosphérique dite TSAP 2005 (Thematic Strategy on Air Pollution) en vue d'atteindre des niveaux de qualité de l'air qui ne causent pas d'impacts négatifs significatifs sur la santé humaine et l'environnement.

Les objectifs de la TSAP ont été définis sur 5 thématiques recouvrant des objectifs de réduction des décès dus à l'exposition aux $PM_{2,5}$ et à l'ozone et de préservation de milieux naturels de l'acidification et de l'eutrophisation (*cf.* tableau ci-dessous). Les objectifs chiffrés à l'horizon 2020 ont été définis par un pourcentage de réduction s'appliquant à un niveau observé en 2000 (nombre de décès par exemple).

Ces objectifs en matière écologique et de santé humaine ont été traduits en niveaux de qualité (concentration moyenne en tel substance) à atteindre pour l'actif naturel « air », puis déclinés en termes de réduction d'émission. Il a ainsi été établi que l'atteinte des objectifs de la TSAP supposait au niveau européen une diminution des émissions entre 2000 et 2020 de :

- 80 % pour le SO_2 ;
- 60 % pour le NOx ;
- 51 % pour les COVNM ;
- 27 % pour l'ammoniac ;
- 59 % pour les $PM_{2,5}$ primaires.

Si l'on se réfère aux travaux d'évaluation de l'IIASA (IIASA 2011), les réductions d'émissions nécessaires à la satisfaction des objectifs de la TSAP 2005 conduiraient en 2020 à des valeurs d'émission très nettement inférieurs à ceux de la directive NEC pour les 4 premiers polluants. Ces valeurs seraient aussi inférieures à celles calculées en 2020 en respect du PG amendé pour les 5 substances concernées sauf pour les COVNM[16].

[16] *Cela devrait conduire en toute logique à des % d'effort supérieurs, mais l'étude de l'IIASA ne les mentionne pas, ni les valeurs d'émission de l'année 2000 (qui peuvent de par la modélisation effectuée différer légèrement des données du Citepa).*

Objectifs de la stratégie thématique sur la pollution atmosphérique

	Critère pris en considération	Cible TSAP en 2020 (% relatif au niveau de 2000)
Impacts sur la santé dus à l'exposition aux $PM_{2,5}$	Années de vie perdues	-47
Effets sur la santé de l'exposition à l'ozone	Cas de mortalité prématurée	-10
Acidification des sols forestiers	Aires forestières avec retombées acides dépassant les charges critiques*	-74
Acidification de l'eau	Bassins hydrographiques avec retombées acides dépassant les charges critiques	-39
Eutrophisation des écosystèmes	Aires d'écosystèmes avec des dépôts d'azote dépassant les charges critiques	-43
Impact de l'ozone sur les forêts	Aires forestières présentant une concentration d'ozone excessive	-15

* *Charges critiques : quantité maximale de dépôts acidifiants qu'un écosystème peut supporter à long terme sans subir de dommages en l'état actuel des connaissances.*

Source : Commission européenne

c) Nouvelle stratégie européenne « Programme Air pur pour l'Europe »

En décembre 2013, une nouvelle stratégie européenne de réduction de la pollution atmosphérique a été adoptée en vue d'atteindre des niveaux de qualité de l'air n'entraînant pas d'incidence ou de risque notables pour la santé humaine et pour l'environnement. Cette stratégie intitulée « Programme Air pur pour l'Europe » inclut une proposition de nouvelle directive sur les plafonds nationaux d'émission.

La nouvelle stratégie fixe de nouveaux objectifs à l'horizon 2030 portant sur la réduction des incidences sur la santé de l'ozone et des particules et sur un nouveau recul de l'eutrophisation. Le texte ne fixe pas d'objectif en matière de lutte contre l'acidification, considérant que « le problème des pluies acides a été en grande partie résolu dans l'Union grâce à une réduction substantielle des émissions des principaux polluants concernés ».

Nouveaux objectifs en matière de qualité de l'air pour 2030

Réduction entre 2005 et 2030 du nombre de décès prématurés dus à l'ozone et aux particules	Diminution d'aires d'écosystèmes excédant les limites concernant l'eutrophisation
-52 %	-35 %

Source : Commission européenne

Ces réductions d'impact exigent la mise en œuvre de nouvelles baisses d'émission qui ont été chiffrées dans la proposition de nouvelle directive qui est associée à la nouvelle stratégie. On mentionnera les réductions d'émission pour la France et l'UE contenues dans la proposition de directive.

Réductions d'émissions entre 2005 et 2030

	France (en %)	UE 28 (en %)
SO_2	-78	-81
NOx	-70	-69
$PM_{2,5}$	-48	-51
NH_3	-29	-27
COVNM	-50	-50

Source : Commission européenne

Ces réductions d'émissions sont d'une ampleur comparable à celles qui avaient été envisagées au moment de la définition de la TSAP 2005. Mais il s'agit bien d'efforts de réduction supplémentaires car ces valeurs prennent comme base l'année 2005, au lieu de l'année 2000 comme précédemment. Or les niveaux d'émission ont sensiblement baissé dans l'UE entre 2000 et 2005.

Normes définies par l'Organisation mondiale de la santé (OMS)

Les lignes directrices de l'OMS concernant la qualité de l'air sont conçues pour donner des orientations mondiales et réduire les conséquences de la pollution atmosphérique sur la santé. Les nouvelles directives de 2005 s'appliquent au monde entier et se fondent sur l'évaluation des données scientifiques actuelles par des experts.

Des valeurs limites sont définies pour les 5 substances étudiées, portant sur un niveau de concentration défini généralement sur une période journalière ou de quelques heures. De tels niveaux ne peuvent être pris en compte par des modèles de simulation comme Gains *(cf. infra)* qui s'appuient plutôt sur des valeurs annuelles[17]. On soulignera deux seuils de concentration définis par l'OMS en moyenne annuelle qui pourraient être utiles pour la suite : 10 µg/m³ (microgrammes par mètre cube) pour les PM2,5 et de 40 µg/m³ pour le dioxyde d'azote (NO_2).

Normes au niveau national

Un premier Plan national santé-environnement (PNSE) a été élaboré en France pour la période 2004-2008. Un deuxième plan (PNSE 2), intégrant les préconisations du Grenelle de l'environnement, a été adopté en 2009, après consultation des acteurs de la santé. Un troisième PNSE devrait se préparer à partir de la fin 2013 sur la base d'une évaluation du PNSE 2. Une des mesures phares du deuxième PNSE est de réduire de 30 % les $PM_{2,5}$ d'ici 2015[18]. Cette mesure fait l'objet d'un plan d'actions national spécifique, le « plan particules ». Le décret du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air fixe une valeur cible de 20 µg/m³ et un objectif de qualité de 10 µg/m³, tout deux étant définis en moyenne annuelle civile.

Que retenir en définitive comme seuil pour la mesure de CENP ?

Face à la multiplicité des normes et stratégies existantes, il est difficile de fixer des seuils adaptés à l'estimation de CENP. De plus, la situation est rendue encore plus compliquée en raison de la période transitoire actuelle malgré la suite qui a été donnée au protocole de Göteborg et l'adoption récente d'une nouvelle stratégie européenne de réduction de la pollution atmosphérique.

Ce sont les normes inscrites dans ces derniers textes, les plus exigeantes à ce jour même si elles n'ont pas encore été avalisées par les États membres de l'UE, qui serviront de base à l'estimation de CENP.

Vers des objectifs de réduction d'émission plus ambitieux et des coûts réévalués

Dans la période transitoire actuelle, des travaux sont entrepris par l'IIASA à partir du modèle Gains (*cf.* encadré *infra*), en collaboration avec les pays de l'UE, pour proposer de nouvelles trajectoires de réduction d'émission à des coûts renforcés, mais supportables pour les économies nationales.

L'IIASA a développé en 2013 différents scénarios dans le contexte d'élaboration de la nouvelle stratégie « Programme Air pur pour l'Europe ».

Les normes qui seront utilisées pour l'estimation de CENP sont basées sur un scénario publié en décembre 2013 par l'IIASA. C'est un scénario arrimé aux exigences de la proposition de nouvelle directive NEC *(cf. supra)*. Ce « scénario-objectifs » tient compte des dernières données disponibles en matière d'activité et de consommation énergétique. Les objectifs, les réductions d'émissions associées et les coûts annuels afférents sont définis à l'horizon 2030 (seule l'année terminale est donnée par le modèle). Pour l'estimation de CENP, les résultats seront ensuite confrontés à ceux d'un scénario au fil de l'eau construit sur la même base de départ.

[17] *Cependant, le respect de valeurs limites pour la qualité de l'air a été analysé au niveau du modèle Gains avec une chaîne d'analyses/de modèles capables de fournir des résultats à une résolution spatiale plus élevée.*

[18] *L'année de référence n'a pas été précisée.*

Le modèle Gains

Les évaluations de coûts mentionnées ici, issues d'études de l'IIASA ou *via* des simulations effectuées en ligne, proviennent du modèle Gains et plus particulièrement de sa déclinaison européenne appelée Gains-Europe.

Gains (Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies) est un modèle développé par l'IIASA qui permet d'évaluer les coûts relatifs à la réduction des émissions des principaux polluants atmosphériques (SO_2, NOx, PM, NH_3, COVNM) et des six GES inclus dans le protocole de Kyoto. Gains permet d'estimer les coûts et les impacts d'une stratégie particulière définissant des cibles en matière de qualité de l'air et de climat. Il repose sur l'utilisation de scénarios élaborés en fonction d'objectifs déterminés : niveaux escomptés de réduction des impacts de la pollution atmosphérique sur la santé humaine et de l'état des écosystèmes.

Gains fonctionne à l'échelle mondiale : 165 pays ou régions, dont 48 pays européens. Le modèle est utilisable en ligne.

C'est un modèle d'évaluation intégré qui tient compte, dans ses évaluations de réductions d'émission et de coûts associés, des interactions entre les émissions de polluants atmosphériques et de GES. Ainsi, l'emploi d'une technique permettant la réduction des émissions de NOx peut aussi avoir des effets bénéfiques sur les émissions de CO_2.

Sa structure est basée sur des données d'activité économique, des éléments sur la formation et la dispersion de polluants dans l'atmosphère et sur une palette de techniques de production génératrices de moindres émissions dans l'atmosphère. Le modèle utilise les projections d'activité de 18 pays ainsi que celles de l'AIE et fait aussi appel au modèle énergétique Primes. Des hypothèses sont faites aussi pour les pays hors de l'UE (basées sur la mise en œuvre de leur législation actuelle).

Les niveaux d'émission sont obtenus en multipliant le niveau d'activité d'un secteur (en unités physiques) par un facteur d'émission exprimé en kt d'émissions par unité d'activité dans le secteur.

Les coûts sont calculés en combinant chaque niveau d'activité au coût de réduction unitaire pour une technologie donnée.

Le modèle ne prend pas en compte des mesures de changement de comportement avec par exemple l'instauration d'une taxe sur la pollution, mais évalue le coût de mesures structurelles comme l'emploi d'énergie alternatives (passage du charbon au gaz naturel) ou de mesures techniques de réduction des émissions laissant inchangés les processus de production. Dans ce dernier cas, il s'agit principalement de technologies en bout chaîne visant à séquestrer les émissions avant leur dispersion dans l'atmosphère. Au total, le modèle rassemble environ 2 000 mesures d'élimination des émissions des 5 polluants étudiés. Les technologies sont supposées disponibles dans chaque pays avec les mêmes coûts techniques. Néanmoins, le modèle tient compte des disparités existantes dans le coût de l'emploi local d'une technologie particulière (notamment dans le coût du travail). Formellement, Gains évalue les investissements directs annualisés sur la période de vie des équipements avec un taux d'actualisation (fixé ici à 4 %). On se réfère aux technologies actuelles, l'impact d'un progrès technique futur n'étant pas considéré.

Le modèle évalue enfin les impacts de la pollution atmosphérique sur la santé humaine (particules fines, ozone troposphérique, dioxyde d'azote) et les dommages causés à la végétation (ozone) et à certains milieux naturels (acidification, eutrophisation).

Le fait que la totalité de ces coûts soit constituée d'investissements d'entreprises ou de renforcement de mesures techniques déjà installées pose question. Rien n'est prévu dans le modèle pour peser directement sur les comportements et réorienter la consommation, alors que d'autres modèles français comme Poles, Imaclim ou Gemini (qui ne traitent toutefois pas de la pollution atmosphérique) incluent des mécanismes de type taxe carbone. Il est toutefois possible d'intégrer indirectement l'effet de mesures pesant sur les comportements de consommation à travers le choix d'un scénario d'activité économique utilisé comme donnée d'entrée dans Gains.

Depuis 2011, en coopération avec l'IIASA, une version nationale du modèle, Gains-France, est mise en œuvre par l'Ineris[19], l'expert national sur Gains. Ce modèle donne la possibilité de modéliser de nombreux scénarios, principalement pour la France, mais également pour les autres pays européens. À l'Ineris, Gains-France est intégré dans une chaine de modèles qui permet d'analyser les processus d'émissions depuis leurs sources jusqu'à l'évaluation (quantification et monétarisation) des impacts de la pollution de l'air sur la santé et les écosystèmes. Actuellement, cette chaîne de modélisation est utilisée pour fournir au Bureau de la qualité de l'air du ministère de l'Écologie des éléments utiles à la décision pour la négociation de la directive NEC. Dans ces travaux, réalisés en collaboration avec le Citepa, des hypothèses nationales sont introduites dans Gains-France pour développer des scénarios plus adaptés à la vision française.

[19] Institut national de l'environnement industriel et des risques, établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Energie.

Résultats du scénario-objectifs

1) Impacts en matière de santé et d'écosystèmes en 2030

Réductions d'impact visées sur la santé et les écosystèmes

	Variation 2030/2010 UE (en %)	Variation 2030/2010 France (en %)
Aires d'écosystèmes avec des dépôts d'azote dépassant les charges critiques	-27,7	-39,3
Années de vie perdues liées à l'exposition aux $PM_{2,5}$	-44,5	-44,8
Nombre de décès prématurés dus à l'exposition à l'ozone	-31,3	-31,7

Source : IIASA, modèle Gains Europe, calculs SOeS

Ces objectifs sont plus ambitieux que ceux de la TSAP 2005, notamment sur le plan de l'exposition à l'ozone. L'atteinte de ces objectifs s'accompagnerait d'une valeur de concentration annuelle de l'air en $PM_{2,5}$ nettement inférieure à celle recommandée par l'OMS (et par le décret français relatif à la qualité de l'air). L'horizon de réalisation des objectifs passe de l'année 2020 à l'année 2030. Mais ceci a peu d'importance pour la détermination d'un montant de CENP correspondant à la dette écologique relative à l'état de référence du passé déterminé implicitement par les objectifs affichés en matière de qualité de l'air. La valeur finale des objectifs à l'horizon 2030 représente la norme écologique actuelle (état de référence implicite du passé), ce qui laisse apparaître des CENP accumulés si elle n'est pas respectée aujourd'hui.

La déclinaison pour la France de ces nouveaux objectifs produirait des améliorations en conformité avec celles calculées pour l'UE (assez faibles différences en %).

Ces améliorations impliquent des efforts renforcés en matière de réduction d'émission et de coûts supplémentaires à supporter.

2) Réduction d'émission associée

Le tableau suivant présente la valeur d'émission obtenue en 2030 pour la France en suivant l'application du scénario-objectifs.

Réductions d'émission en 2030 (scénario-objectifs)

	Émissions en 2030 (en kt)	Variation 2030/2005 (en %)	Variation 2030/2010 (en %)
SO_2	96,9	-78,2	-63,0
NOx	401,3	-70,3	-61,8
$PM_{2,5}$	140,7	-48,1	-44,6
NH_3	476,0	-29,5	-28,4
COVNM	556,0	-50,2	-31,9

Source : Iiasa, modèle Gains Europe, calculs SOeS

Les efforts à consentir sont sensiblement accrus par rapport à ceux qui avaient été édictés dans la TSAP 2005 et la directive NEC. On retrouve les réductions inscrites pour la France dans la proposition de nouvelle directive adoptée par la Commission européenne en décembre 2013.

Par ailleurs, les réductions d'émission visée à l'horizon 2030 sont très nettement supérieures à celles qui ont été programmées pour 2020 dans le protocole de Göteborg amendé.

3) Coûts totaux annuels en 2030

Les coûts calculés pour la France[20] par le modèle Gains permettant de satisfaire ces réductions d'impact s'élèvent à 12,5 milliards d'euros en 2030[21]. Il s'agit d'un coût annuel qui est supposé entièrement internalisé à cet horizon. Un tel coût est amené à se perpétuer chaque année, même s'il peut exister par la suite des variations autour de ce niveau en fonction de l'environnement macro-économique et du progrès technologique. Elles devraient être de faible ampleur d'une année sur l'autre si les objectifs en matière de réduction d'émission ne sont pas sensiblement modifiés.

Si les objectifs assignés en matière de qualité de l'air étaient adoptés au niveau de l'UE, les coûts qui ont été mentionnés permettraient de se prémunir de la plus grande partie des dommages causés par la pollution atmosphérique. Il ne s'agit pas à ce stade du montant de la dette écologique, puisque ces 12,5 Md€ incluent une partie non négligeable de coûts qui sont aujourd'hui payés (internalisés), notamment après les efforts consentis au cours des années 2000. Pour avoir une idée du « reste à payer » dans la situation présente, on s'appuiera sur les résultats d'un scénario « de référence » publié en décembre 2013 par l'IIASA. Il est construit sur la base du strict respect au cours des années futures de la réglementation en vigueur (les autres hypothèses étant identiques à celui du scénario-objectifs) sans définir de coûts supplémentaires.

Résultats du scénario de référence

1) Conséquences en termes d'impacts

Réductions d'impact sur la santé et les écosystèmes (hors ozone)

	Variation 2030/2010 UE (en %)	Variation 2030/2010 France (en %)
Aires d'écosystèmes avec des dépôts d'azote dépassant les charges critiques	-15,9	-19,5
Années de vie perdues liées à l'exposition aux $PM_{2,5}$	-31,5	-35,5

Source : IIASA, modèle Gains Europe, calculs SOeS

La situation en 2030 obtenue selon le scénario de référence présente des améliorations significatives, mais il resterait des efforts à consentir pour atteindre les niveaux de qualité de l'air conformes aux objectifs du scénario-objectifs à l'appui de la stratégie « Programme Air pur en Europe ». Les quatre cinquièmes de la valeur de l'objectif seraient obtenue en matière d'années de vie perdues consécutives à l'exposition aux particules et la moitié du chemin seulement serait parcourue sur le plan des aires préservées de l'eutrophisation. En termes de réduction d'émission, ce scénario respecte les baisses entre 2005 et 2020 affichées par le PG amendé, en étant même plus exigeant sur le SO_2 (baisse de 68 % contre -55 % dans le PG).

[20] On ne mentionnera pas ici les coûts à l'échelle de l'UE, sachant que les coûts calculés pour la France se comprennent dans le cadre d'un scénario défini au départ sur l'ensemble des pays européens.

[21] Tous les montants de coûts sont exprimés en euros de l'année 2005.

2) Coûts annuels

Les coûts annuels en 2030, terme de la période pour l'atteinte des objectifs du scénario-objectifs, atteignent 12,2 Md€ dans le scénario de référence. C'est un montant inférieur de 300 M€ à celui estimé par le scénario-objectifs. Cela signifie que la mise en œuvre de la nouvelle stratégie européenne (accompagnée des réductions d'émission contenues dans la proposition de nouvelle directive) entraînerait des coûts additionnels d'une assez faible ampleur (+2 %) par rapport au total des coûts annuels qui serait atteint dans le cas de la simple poursuite des mesures légales en vigueur. Une telle évolution conduirait en 2030 à un effacement presque complet de la dette écologique qui mesure l'écart de coût entre le montant effectivement consenti par l'économie et celui qu'il faudrait supporter pour rejoindre les normes de qualité retenues. Si cet écart estimé en 2030 est faible, il en va différemment dans la situation actuelle. Celle-ci sera caractérisée par le montant de coûts mis en œuvre en 2010 en vue de réduire ou de contenir les émissions des 5 polluants atmosphériques étudiés.

Évolution des coûts totaux annuels

France	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Coût annuel total (en M€)	3 481,9	6 108,3	8 134,6	10 050,0	11 470,3	12 179,9	12 207,8

Source : IIASA, modèle Gains Europe

Coûts écologiques non payés en 2010

Les coûts annuels estimés par le modèle Gains atteignent 8,1 Md€ en 2010. Ces coûts annuels ont été multipliés par un facteur supérieur à 2 depuis 2000, ce qui a fortement contribué à réduire les impacts des émissions atmosphériques et ainsi de se conformer progressivement aux normes en vigueur (directive NEC, protocole de Göteborg), même si le seuil fixé pour les NOx n'est toujours pas respecté. Cependant, les coûts qu'il resterait à supporter pour atteindre les objectifs plus ambitieux de la nouvelle stratégie européenne ne sont pas négligeables. Ces derniers sont estimés à **4,4 Md€**, montant obtenu par différence entre le coût total annuel en 2030 du scénario-objectifs et le coût total annuel estimé en 2010. On peut considérer un tel montant comme la dette écologique de la France relative aux objectifs de qualité de l'air du programme « Air pur en Europe ». Chaque année, si la trajectoire « optimale » est suivie, de nouveaux coûts seront supportés jusqu'à atteindre 4,4 Md au total en 2030. Le respect de cette trajectoire permettrait de réduire progressivement la dette écologique et même de l'annuler totalement en fin de période.

Comme les objectifs du « Programme Air pur pour l'Europe » n'ont pas été repris dans un accord international ou dans la législation nationale, le niveau de dette écologique mentionné ne peut toutefois être retenu comme une véritable valeur de référence. C'est un montant sensiblement inférieur à celui qui a été calculé pour l'atteinte du facteur 4 en 2050 (*cf.* partie 2), même si les méthodes employées dans l'évaluation des coûts diffèrent. Les négociations en cours devront être suivies de près pour connaître les nouvelles normes ou objectifs qui seront édictés dans l'UE en matière de réduction de la pollution atmosphérique et actualiser le montant de CENP qui a été donné plus haut.

Limites, développements

Il n'a pas été possible, comme dans la partie précédente, de décliner la démarche jusqu'au bout en estimant pour une année donnée un montant de coût écologique non payé en fonction d'un niveau d'émission. Seule une estimation du stock de dette écologique a pu être réalisée. Les fonctionnalités du modèle Gains permettraient de calculer des CENP annuels pour un polluant particulier, mais plus difficilement pour l'ensemble des 5 substances considérées.

Certains aspects importants ont été éludés, notamment une description des types de coût associés à l'emploi du scénario utilisé et leur déclinaison par secteurs d'activité. C'est cependant un point qui ne pose pas de difficulté particulière et qui pourra être mis en exergue dans une version ou une note ultérieure.

Il se pose enfin la façon d'appréhender le milieu naturel considéré dans cette partie. S'il s'agit bien au départ de la qualité de l'air susceptible d'être améliorée avec une baisse des émissions de différentes substances, les coûts évalués permettent consécutivement d'améliorer l'état de certains écosystèmes (masses d'eau touchées par l'eutrophisation). C'est une question qu'il faudra garder à l'esprit lorsque sera tentée une estimation intégrée de CENP sur plusieurs milieux naturels. Les risques de doubles comptes ou d'incohérences seront alors à examiner de près.

Comme développement possible, il serait envisageable, sous réserve d'analyse des fonctionnalités du modèle Gains, de définir un scénario permettant d'évaluer simultanément les coûts de réduction des émissions de GES et de la pollution atmosphérique et d'estimer en fonction des résultats obtenus un montant de dette écologique sur l'atmosphère considérée sur l'ensemble de ses fonctions (qualité de l'air et régulation du climat).

Bibliographie

- Amann M. *et al.* (2011): *Cost Effective Control Quality of Air Quality and Greenhouse Gases in Europe: Modeling and Applications*, in Environmental Modelling & Software, septembre 2011.
- Centre d'analyse stratégique (2008) : *La valeur tutélaire du carbone*, Rapport de la commission présidée par A. Quinet.
- Commission européenne (2013) : *Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions – Programme « Air pur pour l'Europe »*, décembre 2013.
- Commission des communautés européennes (2005) : *Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen – Stratégie thématique sur la pollution atmosphérique*, septembre 2005.
- Commision of the European Communities (2009): *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament - GDP and Beyond Measuring Progress in a Changing World.*
- Conseil général de l'environnement et du développement durable (2013) : *Le facteur 4 en France : la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050.*
- De Perthuis C. (2011) : *Trajectoires 2020-2050 vers une économie sobre en carbone*, rapport du comité présidé par Christian de Perthuis.
- Devaux J. (2013) : *Les coûts écologiques non payés liés à la pollution de l'eau en France*, communication au séminaire du Medde « Monétarisation des biens, services et impacts environnementaux en appui à la décision : les nouveautés méthodologiques », décembre 2013.
- European Commission (2010) - Directorate General for Energy: *EU Energy Trends to 2030 - update 2009.*
- IIASA (2011): *Cost-Effective Emission Reductions to Improve Air Quality in Europe in 2020*, Final Report.
- IIASA (2010) : *Potentials and Costs for Mitigation of non-CO_2 Greenhouse Gas Emissions in the European Union until 2030.*
- Le Moullec A. (2013) : *La qualité de l'air en 2011 : la France dans l'Union européenne*, Chiffres & statistiques n° 474, décembre 2013.
- Medde/DGEC (2011) : *Scénarios prospectifs Énergie-Climat-Air à horizon 2030.*
- Nauroy F. (2013) : *Les coûts écologiques non payés liés aux émissions de GES en France*, communication au séminaire du Medde « Monétarisation des biens, services et impacts environnementaux en appui à la décision : les nouveautés méthodologiques », décembre 2013.
- Nauroy F. (2012) : *Comptabiliser la dégradation non compensée des actifs naturels et leur épuisement*, note présentée au XIVe colloque de l'Association de comptabilité nationale.
- Pasquier J.-L. (2012) : *L'empreinte carbone de la consommation des Français : évolution de 1990 à 2007*, Le Point sur, n° 114, mars 2012.
- Rafenberg C. (2013) : *Pollution de l'air et santé : le coût pour la société*, Le Point sur n° 175, octobre 2013.
- Stiglitz J.E., Sen A., Fitoussi J.P. (2009) : *Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social*, septembre 2009.
- UNECE/Eurostat/OECD (2013): *Framework and Suggested Indicators to Measure Sustainable Development*, Prepared by the Joint Task Force on Measuring Sustainable Development.
- Vanoli A. (2013) : *Vers un enrichissement des comptes de la Nation par la valorisation de l'évolution de l'état des actifs naturels*, communication au séminaire du Medde « Monétarisation des biens, services et impacts environnementaux en appui à la décision : les nouveautés méthodologiques », décembre 2013.
- Vanoli A. (2012): T*owards the Estimation of Final Demand at Total Costs (Paid Economic Costs plus Unpaid Ecological Costs) in an Extended National Accounting Central Framework*, communication à la 32e Conférence générale de l'association internationale IARIW (International Association for Research in Income and Wealth).
- Vanoli A. (1995): *Reflections on Environmental Accounting Issues*, the Review of Income and Wealth, Series 41, Number 2, 1995.
- Site internet : http://gains.iiasa.ac.at/index.php/gains-europe

Glossaire

- **Acidification** : augmentation de l'acidité d'un sol, d'un cours d'eau ou de l'air en raison des activités humaines. Le phénomène d'acidification peut modifier les équilibres chimiques et biologiques et affecter gravement les écosystèmes. L'augmentation de l'acidité de l'air est principalement due aux émissions de SO_2, NOx et HCl, lesquels, par oxydation, donnent les acides HNO_3 et $H2SO_4$. Les pluies acides qui en résultent ont un PH voisin de 4 à 4,5.

- **Actifs naturels** : sont constitués d'êtres vivants, de ressources naturelles minérales (dont les ressources énergétiques fossiles) et de l'atmosphère. Un actif naturel peut-être aussi bien un écosystème (forêt) qu'un élément de l'écosystème (masses d'eau, faune) ou un espace géographique plus large (océan, etc.). Le renouvellement d'un actif naturel peut-être bouleversé, dégradé, mis en danger, ou maîtrisé par l'homme. Les économistes parlent plutôt de capital naturel par analogie avec le capital physique.

- **Ammoniac** (NH_3) : gaz malodorant et irritant à forte concentration qui présente également des risques pour les écosystèmes. Il se dépose sur les surfaces et son évolution chimique dans les sols peut conduire à un excès de matière azotée et à des phénomènes d'eutrophisation des milieux naturels.

- **Charges critiques** : dépôt atmosphérique maximal admissible par un écosystème. Leur calcul implique la définition d'une classification des écosystèmes et sa cartographie à l'échelle de la France. Elle représente le dépôt atmosphérique acide (soufre et/ou azote) maximal admissible par le sol pour que la concentration en aluminium et le pH ne dépassent jamais la limite critique. En France, la limite critique a été fixée, d'après l'étude de stations forestières sensibles, aux valeurs suivantes :
  - pH : limite critique à 4,6 ;
  - rapport entre la concentration en aluminium et la concentration en cations : limite critique à 1,2.

- **Composés organiques volatils** (COV) : la famille des composés organiques volatils regroupe plusieurs milliers de composés (hydrocarbures, solvants...) aux caractéristiques très variables. Ils ont un impact direct sur la santé (certains sont toxiques ou cancérigènes). Ils interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère. Les COV entrent dans la composition des carburants, mais aussi de nombreux produits courants : peintures, encres, colles, détachants, cosmétiques, solvants... pour des usages ménagers, professionnels ou industriels (leur présence dans l'air intérieur peut aussi être importante).

- **Demande finale résidente/nationale** : somme de la consommation finale et de la formation de capital par les agents économiques résidents d'une économie.

- **Dioxyde de soufre** (SO_2) : gaz sans couleur et ininflammable avec une odeur pénétrante qui irrite les yeux et les voies respiratoires. Le dioxyde de soufre réagit sur la surface d'une variété de particules en suspension solides, il est soluble dans l'eau et peut être oxydé dans les gouttelettes d'eau portées par le vent. Le dioxyde de soufre provient principalement de la combustion des combustibles fossiles (charbons, fuels...), au cours de laquelle les impuretés soufrées contenues dans les combustibles sont oxydées par l'oxygène de l'air O_2 en dioxyde de soufre SO_2.

- **Écosystème** : ensemble des êtres vivants (faune et flore) et des éléments non-vivants (eau, air, matières solides), aux nombreuses interactions d'un milieu naturel (forêt, champ). L'écosystème se caractérise essentiellement par des relations d'ordre bio physico-chimique. On parle d'écosystème aquatique, d'écosystème montagnard, etc.

- **Effet de serre** (émissions de gaz à effet de serre) : phénomène d'échauffement de la surface de la Terre et des couches basses de l'atmosphère, dû au fait que certains gaz de l'atmosphère absorbent et renvoient une partie du rayonnement infrarouge émis par la Terre, ce dernier compensant le rayonnement solaire qu'elle absorbe elle-même.

- **Empreinte carbone de la demande finale** : quantité de gaz à effet de serre émise pour satisfaire la demande finale (consommation finale + investissement) de produits d'un pays, y compris les émissions liées aux importations.

- **Eutrophisation** : apport en excès de substances nutritives (nitrates et phosphates) dans un milieu aquatique pouvant entraîner la prolifération des végétaux aquatiques (fleur d'eau). Pour les décomposer, les bactéries aérobies augmentent leur consommation en oxygène qui vient à manquer et les bactéries anaérobies se développent en dégageant des substances toxiques : méthane, ammoniac, hydrogène sulfuré, toxines, etc.

- **Oxydes d'azote** (NOx) : les oxydes d'azote comprennent le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO_2), le protoxyde d'azote (N_2O), le tétraoxyde de diazote (N_2O_4), le trioxyde d'azote (N_2O_3). Les composés analysés par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air sont le NO et le NO_2 dont la somme est regroupée sous le terme d'oxydes d'azote (NOx). Les oxydes d'azote sont des polluants qui participent à la formation de l'ozone et concourent au phénomène des pluies acides ainsi qu'à l'eutrophisation des sols. Le dioxyde d'azote est particulièrement nocif pour la santé humaine. C'est un gaz irritant pour les bronches.

- **Particules en suspension** (PM) : polluants qui constituent un ensemble hétérogène, dont chaque élément possède sa propre caractérisation physico-chimique. Leurs effets sur la santé dépendent, d'une part, de la granulométrie (elles pénètrent d'autant plus profondément dans l'appareil respiratoire que leur diamètre est faible) et d'autre part, de la composition chimique (elles peuvent en effet contenir des produits toxiques tels que des métaux ou des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont certains sont considérés comme cancérigènes). Les préoccupations sanitaires les plus fortes portent aujourd'hui sur les particules les plus fines.

- **Résilience** (écologique) : capacité d'un écosystème à résister et à survivre à des altérations ou à des perturbations affectant sa structure ou son fonctionnement, et à trouver, à terme, un nouvel équilibre.

Commissariat général au développement durable
Service de l'observation et des statistiques
Tour Voltaire
92055 La Défense cedex

Retrouver cette publication sur le site :
http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr

Dépôt légal : mai 2014
ISSN : 2102-4723
ISBN : 978-2-11-128672-6

Conditions générales d'utilisation

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille — 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1er juillet 1992 — art. L.122-4 et L.122-5 et Code pénal art. 425).

Les coûts écologiques non payés relatifs aux émissions dans l'air

Les différentes atteintes à l'environnement se traduisent par des pertes de bien-être (air pollué, paysages dégradés, impacts sur la santé...) qui ne sont pas prises en compte par les indicateurs classiques des comptes nationaux tels que le Produit intérieur brut (PIB). De nombreuses solutions ont été proposées depuis plusieurs décennies afin de refléter dans un même indicateur les différentes dimensions du développement durable. Le rapport de la Commission (dite Stiglitz) sur la mesure des performances économiques et du progrès social publié en 2009 a émis de sérieuses réserves sur la possibilité de construire un tel indicateur.

Afin de contribuer à l'objectif, réaffirmé au cours de la conférence de Rio + 20 en 2012, de construire des indicateurs complémentaires au PIB, la démarche des coûts écologiques non payés représente une voie intéressante. Elle s'inscrit dans les réflexions actuelles en matière de comptabilité économique environnementale qui cherchent à élargir le champ des comptes nationaux traditionnels.

Les coûts écologiques non payés (CENP) constituent une évaluation des dépenses qu'il conviendrait de mettre en œuvre pour respecter des normes écologiques permettant de restaurer et préserver différents milieux naturels dégradés par les pressions dues aux activités humaines. L'estimation de tels coûts pour une année donnée porte sur la dégradation additionnelle de milieux naturels par rapport à l'année précédente. Si l'on cherche à évaluer la totalité des coûts permettant de revenir à un état de référence passé (en fonction de l'exigence de normes écologiques en vigueur) impliquant une restauration partielle ou totale du patrimoine naturel, on parlera de dette écologique. En pratique, la dette écologique qui est un concept comptable (sans incidence légale) nécessite plusieurs années, voire plusieurs décennies, pour être résorbée. Son montant résulte en effet de l'accumulation sur une période passée, plus ou moins longue, de CENP liés aux niveaux de pression exercés année après année sur les milieux naturels.

Cette publication de la collection « Études & documents » propose une présentation de la méthode générale sur les CENP ainsi que des estimations portant sur les émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique. La démarche est encore expérimentale à ce stade et couvre un champ relativement limité du patrimoine naturel.

Ministère de l'Écologie,
du Développement durable
et de l'Énergie
Commissariat général au développement durable
Service de l'observation et des statistiques
Tour Voltaire
92055 La Défense cedex
mél : diffusion.soes.cgdd@developpement-durable.gouv.fr