

Prise en compte du développement durable dans l'évaluation des projets

Un point de vue français

31

Document de référence
2013 • 31

Emile Quinet
Ecole Nationale des Ponts et Chaussées,
Paris, France

Prise en compte du développement durable dans l'évaluation des projets : Un point de vue français

1^{ère} Session du Groupe de travail FIT/OCDE sur
**l'Évaluation des politiques de transition à long
terme vers des transports durables**
AIE, Paris, 12-13 décembre 2013

Document de référence n° 2013-31

Emile QUINET

École Nationale des Ponts et Chaussées
Paris
France

Octobre 2013

LE FORUM INTERNATIONAL DES TRANSPORTS

Le Forum international des transports est une organisation intergouvernementale apparentée à l'OCDE qui regroupe 54 pays membres. En tant que laboratoire d'idées stratégique, son objectif est d'aider à définir les priorités d'action dans le domaine des transports au niveau mondial et de veiller à ce qu'elles favorisent la croissance économique, la protection de l'environnement, la cohésion sociale ainsi que la préservation de la vie humaine et du bien-être. Le Forum international des transports organise un sommet annuel des ministres et des principaux représentants du secteur des transports, de la société civile et du monde universitaire.

Le Forum international des transports a été créé par une Déclaration du Conseil des Ministres de la CEMT (Conférence européenne des ministres des transports) lors de la session ministérielle de mai 2006. Il est établi sur la base juridique du Protocole de la CEMT, signé à Bruxelles le 17 octobre 1953, et des instruments juridiques de l'OCDE.

Les pays membres du Forum sont les suivants : Albanie, Allemagne, Arménie, Australie, Autriche, Azerbaïdjan, Belarus, Belgique, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Canada, Chili, Chine, Corée, Croatie, Danemark, Espagne, Estonie, États-Unis, ex-République yougoslave de Macédoine, Finlande, France, Géorgie, Grèce, Hongrie, Inde, Irlande, Islande, Italie, Japon, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Malte, Mexique, Moldova, Monténégro, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Serbie, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie et Ukraine.

Le Centre de recherche du Forum international des transports rassemble des statistiques et mène des programmes coopératifs de recherche couvrant tous les modes de transport. Les résultats de ses recherches, largement diffusés, facilitent l'élaboration des politiques dans les pays membres et contribuent aux débats du sommet annuel.

Documents de référence

La série Documents de référence du Forum international des transports porte à la connaissance des chercheurs et professionnels les travaux de recherche menés par le Centre de recherche sur les transports ou à sa demande. Les Documents de référence visent à faire mieux comprendre le secteur des transports et à éclairer l'élaboration des politiques des transports. Le Forum international des transports n'apporte pas de modifications aux documents de référence, qui reflètent uniquement l'opinion de leurs auteurs.

Ces documents peuvent être téléchargés à l'adresse suivante :

www.internationaltransportforum.org/jtrc/DiscussionPapers/jtrcpapers.html

Adresse du site web du Forum international des transports : www.internationaltransportforum.org

Pour de plus amples renseignements sur les *Documents de référence* et les autres activités du CCRT : itf.contact@oecd.org

Ce document et toute carte qu'il peut comprendre sont sans préjudice du statut de tout territoire, de la souveraineté s'exerçant sur ce dernier, du tracé des frontières et limites internationales, et du nom de tout territoire, ville ou région.

TABLE DES MATIÈRES

RESUME.....	4
1. LE CADRE DES RÉFLEXIONS	5
2. LA PRISE EN COMPTE DU LONG TERME	6
2.1 Nécessité d'un scénario de référence et d'une stratégie à long terme.....	6
2.2 Ce que devrait contenir une stratégie à long terme :	7
3. L'INCERTITUDE	11
4. LES EFFETS DE STOCK.....	14
4.1 Carbone.....	14
4.2 Les préconisations du rapport de 2009.....	15
4.3 La révision de ces dispositions en 2013.....	20
4.4 Biodiversité	22
4.5 Valeur des sols agricoles	23
5. LES EFFETS DE FLUX	23
5.1 Pollution	23
5.2 Les effets amont-aval	25
5.3 Bruit.....	26
6. BILAN : LES CHANGEMENTS DANS LA RÉPARTITION DES AVANTAGES.....	26
NOTES.....	28
REFERENCES	30

Paris, octobre 2013

RESUME

La prise en compte du développement durable dans l'évaluation des projets d'investissement est un sujet d'actualité à la fois en termes de réflexions et au niveau des prises de décisions. Au plan de la réflexion, on mentionnera les nombreuses études et recherches pour évaluer les atteintes à l'environnement et les traduire en termes monétaires, à la fois pour les atteintes qu'on appellera par la suite « de flux » telles que la pollution ou le bruit, et celles qu'on appellera « de stock » qui exercent leurs effets par accumulation sur le long terme telles que le réchauffement planétaire ou la réduction de la biodiversité. En ce qui concerne la prise de décision, on remarque que dans de nombreux pays, on s'efforce de mieux intégrer ces préoccupations dans la conception des projets et dans l'analyse coût-bénéfice auxquels ils donnent lieu. La France n'échappe pas à ce mouvement ; récemment un groupe de travail a été constitué pour mettre à jour les modalités d'évaluation des investissements publics, et les travaux de ce groupe, qui viennent de s'achever, ont accordé une grande place aux considérations de développement durable et de prise en compte du long terme. Le présent texte s'appuie largement sur les travaux de ce groupe de travail. On s'efforcera dans ce qui suit de les analyser au regard des connaissances scientifiques, mais aussi de les replacer dans le contexte institutionnel et politico-administratif français.

Ce texte est organisé de la façon suivante : après une présentation d'ensemble du travail effectué par le groupe précité, on abordera d'abord la prise en compte du long terme et d'un de ses traits essentiels, l'incertitude. Puis on se penchera sur les effets de stock, avec les deux aspects majeurs que sont d'une part le réchauffement planétaire, avec la question du coût du carbone, et d'autre part la biodiversité. Enfin, on abordera les effets de flux, dans lesquels on rencontre les effets classiques sur la pollution de l'air et le bruit, mais qui comportent aussi de nombreux autres effets moins bien cernés. On terminera par une esquisse de bilan des conséquences des nouvelles dispositions sur les choix de projets.

1. LE CADRE DES RÉFLEXIONS

La France possède une longue tradition en matière d'évaluation des investissements publics. À plusieurs reprises, sous l'égide des instances s'occupant d'évaluation économique (le Commissariat général du Plan puis le Centre d'analyse stratégique et à présent du Commissariat général à la stratégie et à la prospective), des commissions se sont réunies pour définir et améliorer les procédures d'évaluation. Leurs conclusions ont ensuite été traduites en instructions et directives éditées par les administrations compétentes. Ainsi, en 1994, une commission a fixé la doctrine, qui ancre l'évaluation des projets dans le corps de doctrine du calcul économique¹. D'autres commissions se sont ensuite attachées à quelques aspects particuliers : l'évaluation des effets sur l'environnement², la fixation du taux d'actualisation³, la valeur collective du carbone⁴, la biodiversité⁵ et la prise en compte du risque⁶.

En 2012, il est apparu nécessaire de reprendre l'ensemble de ces réflexions, dont les plus anciennes dataient de près de 20 ans, pour les mettre à jour compte tenu du progrès des connaissances et de l'évolution du contexte économique et des problèmes d'actualité, parmi lesquels bien sûr les considérations liées au développement durable prennent une place croissante. Le groupe de travail constitué à cet effet, et sur lequel le présent texte s'appuie, a remis récemment son rapport, publié sous le titre : « Evaluation socio-économique des investissements publics »⁷. Ses propositions sont fondées sur une analyse critique raisonnée de la littérature existant sur ces sujets, sur les évaluations statistiques auxquelles ils ont donné lieu en France et à l'étranger, et enfin sur certaines études et recherches menées dans le cadre des travaux spécifiques du groupe de travail en cause. Le rapport comporte d'abord une mise à jour des valeurs unitaires à utiliser dans le calcul économique ; il propose des enrichissements du calcul traditionnel en y incluant ce qu'il est convenu d'appeler des « effets économiques élargis » (*wider economic effects*) ; il s'attache à définir des critères de choix et de hiérarchisation des projets intégrant les considérations de long terme et de risque ; enfin, il fait des propositions pour améliorer la gouvernance des études et leur insertion dans le processus de décision. De cet ensemble, on retiendra ce qui concerne le développement durable, soit les considérations concernant le long terme et le risque, ainsi que les modalités de prise en compte des effets d'environnement.

2. LA PRISE EN COMPTE DU LONG TERME

2.1 Nécessité d'un scénario de référence et d'une stratégie à long terme

Il est notoire que les investissements de transport ont une vie très longue. La quasi-totalité d'entre eux subsistent sur des durées qui dépassent la centaine d'années. Compte tenu de la longue période de gestation après que la décision ait été prise, atteignant en général la dizaine d'années, il est clair que les avantages à attendre d'un investissement décidé aujourd'hui n'apparaîtront que vers 2025, et s'étaleront jusque vers 2150 au moins ; certes l'actualisation contribue à réduire le poids du futur lointain, mais des calculs simples montrent que tout ce qui se passe avant, disons, 200 ans, pèse d'un poids non négligeable dans les bilans économiques, et ce, d'autant plus que les taux d'actualisation ont dans l'ensemble tendance à baisser. Il est donc important que nous étendions l'horizon d'analyse, qui est pris actuellement en France égal à cinquante ans. Ce n'est d'ailleurs que poursuivre une tendance que l'on constate dans les recommandations des différents pays, qui ont pris des horizons d'études allant de 20 à 30 ans il y a quelques dizaines d'années alors qu'elles se situent maintenant rarement en dessous de 50 ans. C'est dans la ligne de ces réflexions que le rapport recommande de faire les calculs de rentabilité jusqu'à l'année 2070, et de retenir au-delà de cette année, une valeur résiduelle correspondant à cinquante ans des avantages de la dernière année, avantages supposés stabilisés à partir de cette année là.

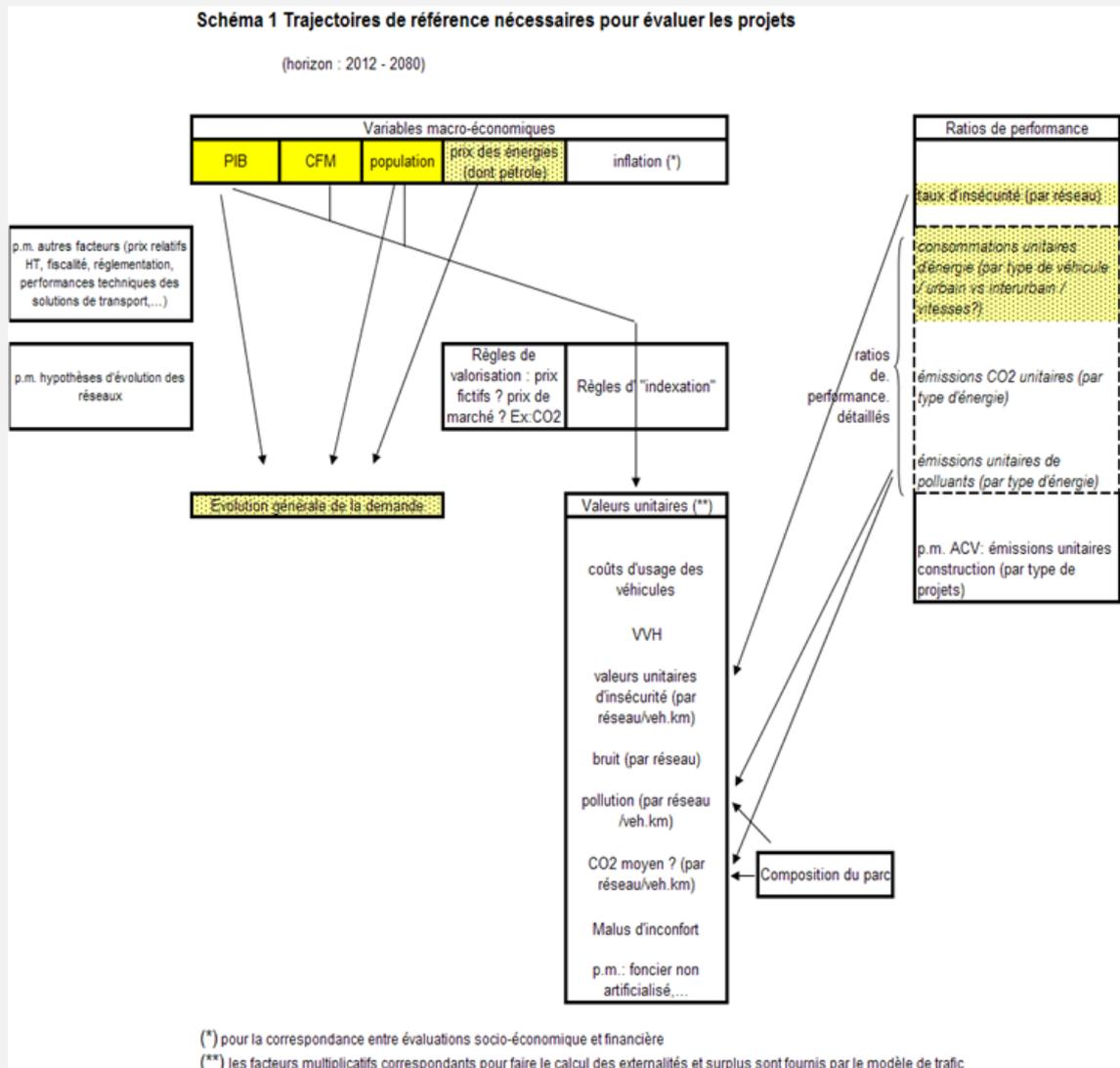
Mais comment établir des prévisions, comment effectuer des calculs économiques sur une aussi longue durée ? Pour éclairer cette question, il faut tenir compte d'un trait fondamental des évaluations de projets : c'est qu'ils sont effectués à la marge (pour des petits projets, une situation dans laquelle on se place toujours) d'une trajectoire de croissance, définie par des chroniques de prix et de quantités, ainsi que des modes de vie et des utilités.

Ceci comporte plusieurs conséquences. D'abord, il est probable qu'aux échéances envisagées de l'ordre de la centaine d'années au moins, sous peine de réalisation du risque de catastrophes naturelles qui fait l'objet d'un consensus relativement large au sein du Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat (GIEC), nous devons avoir réduit nos émissions de gaz à effet de serre dans des proportions considérables; nous devons également faire face, dans des conditions encore à définir, à un renouvellement de notre politique énergétique. Il est aussi probable que nous devons réduire l'artificialisation des sols, sauf à subir les conséquences de la réduction de la biodiversité. Si l'on a une vue sur les solutions à mettre en œuvre pour les quinze à vingt prochaines années, les perspectives sont beaucoup plus ouvertes pour les horizons plus lointains, à échéance de 2060 à 2080. Différentes voies sont possibles, dont on mesure facilement les conséquences sur la politique d'infrastructure : par exemple, dans le secteur des transports, une réduction de la mobilité, un report modal massif, une modification de l'organisation spatiale réduisant la longueur des déplacements, des progrès techniques plus ou moins associés à une perte de performance des véhicules, ou enfin, plus probablement, une combinaison à trouver de ces différentes voies. Et bien évidemment, selon la voie choisie, la rentabilité de

chaque projet particulier peut être très différente : comment évaluer l'intérêt d'une autoroute quand on ne sait pas si dans une cinquantaine d'années le trafic qu'elle supportera va continuer à augmenter, ou au contraire se réduire ? Cette situation illustre le fait que l'évaluation des projets ne peut se mettre en œuvre en l'absence d'une stratégie comme cadre de l'évaluation. On avait pu s'en passer à l'époque des 30 glorieuses, où le prolongement des tendances passées tenait lieu de stratégie. On avait encore pu en faire l'économie jusqu'à la fin du siècle dernier, en dépit du ralentissement de la croissance et des crises récurrentes. On considérait simplement que la croissance était un peu moins forte et plus incertaine. Mais désormais, la mise au point d'un cadrage stratégique de long terme ne peut plus être repoussée. Et il est clair que cette stratégie ne dépend que partiellement de la politique d'infrastructure, qui souvent en est plus une conséquence qu'une composante.

2.2 Ce que devrait contenir une stratégie à long terme :

Une telle stratégie devrait être surtout fondée sur des perspectives de croissance à la fois en volume et en structure, d'évolutions démographiques et des modes de vie, tenant compte aussi des évolutions technologiques à attendre dans l'avenir ainsi bien sûr que de la traduction des engagements de politiques publiques traduisant notamment nos engagements écologiques et énergétiques vis-à-vis des générations futures. L'ensemble passe par des chroniques de prix et quantités et de données réglementaires. Il est clair que les paramètres les plus importants concernent, outre la macro-économie (GDP, ...), les secteurs de l'énergie (prix du pétrole, prix fictif et taxation éventuelle du carbone), de l'aménagement spatial (réglementation et fiscalité de l'urbanisme) et bien sûr des transports (taxation, réglementation des véhicules et de la circulation).



Le graphique joint, tiré d'une contribution de David Meunier au rapport en cause, illustre la modélisation qu'on pourrait envisager et les données d'entrée et de sortie qui seraient nécessaires pour l'élaboration d'un scénario idéal. De nombreux exercices de ce type ont été présentés, à la fois par des organisations officielles et par des analystes, et on se trouve dans l'embaras du choix. Citons quelques travaux récents, dans l'objectif, non d'être exhaustif, mais de faire apparaître quelques traits généraux des travaux en la matière.

- Au niveau institutionnel européen, on rencontre d'abord les études menées par la Commission dont les publications les plus notables sont les deux livres blancs "European transport policy for 2010: time to decide" (2001) et "Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system" (2011). Ces travaux prennent comme horizon le plus éloigné l'année 2050 ; ils tracent d'abord le cheminement auquel aboutirait la poursuite des tendances passées (BAU), puis les conséquences de différents scénarios qui permettraient de satisfaire les

- contraintes fixées par les engagements internationaux actuels ou jugés souhaitables.
- En France, plusieurs exercices ont été effectués dans le même esprit. Citons l'étude ENERDATA : « Comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution transfrontière » (Prédit, Paris 2008, B Château, V Bagard, Y Crozet, H.G Lopez-Ruiz). Elle se situe à l'horizon 2050 comme la précédente, et utilise un modèle qui est davantage centré sur les évolutions technologiques et les effets des politiques publiques que sur la cohérence macro-économique ; là aussi l'étude procède par scénarios et définit, outre un scénario au fil de l'eau dans lequel les objectifs d'émission ne sont pas atteints, deux scénarios orientés respectivement vers la réglementation et la technologie et vers des mécanismes de quotas et de taxations.
 - L'ADEME a produit en 2012 une « Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050 » ; si la vision à l'horizon 2030 est au fil de l'eau, la vision 2050 est fondée sur des objectifs énergétiques et environnementaux à atteindre à cette époque ; par rapport à l'étude précédemment citée ENERDATA, elle envisage des politiques plus générales, concernant notamment l'urbanisme et la construction, mais étudie moins en détail le secteur des transports.
 - Blaney, Hickford et Preston ont présenté au récent congrès ETC 2013 (PLANNING TRANSPORT NETWORKS FOR AN UNCERTAIN FUTURE: A UK CASE STUDY) les résultats obtenus par le ITRC. Là aussi, il s'agit d'une analyse de scénarios fixés à priori, mais l'étude présente par rapport aux précédentes deux différences ; la première concerne l'horizon, fixé à 2100 ; la seconde concerne la prise en compte des localisations géographiques, qui permettent de particulariser les relations sur lesquelles se présenteront des problèmes de capacité.

Cet échantillon très réduit des nombreuses études menées pour éclairer le futur des transitions écologiques et énergétiques fait apparaître d'abord la prudence avec laquelle sont abordés les éclairages de long terme : à l'instar des trois premières études présentées, la plupart des analyses ne dépassent pas l'horizon 2050. Or, 2050 est une date très proche quand on considère les infrastructures dont on doit décider maintenant ; en outre c'est une date à laquelle nous ne serons qu'à peine entrés dans le nouveau monde d'après la transition énergétique et écologique.

Une autre question concerne la plus ou moins grande dépendance des scénarios macro-économiques pris comme hypothèse vis-à-vis de la politique d'infrastructure des transports. La plupart des études considèrent que cette dépendance est faible ; cela paraît raisonnable pour les infrastructures inter-cités ; en effet d'abord leur volume financier n'est pas tel qu'il puisse induire des rétroactions et des effets d'éviction importants à l'égard d'autres investissements publics ; ensuite les possibilités d'inflexion d'une politique d'infrastructures sur la croissance économique sont faibles ; ce n'est pas, pour les liaisons inter-cités, la politique d'infrastructure qui peut influencer sensiblement sur le partage modal ou la consommation d'énergie, comme le montre l'encadré joint n°1 qui fait apparaître le faible effet des réalisations ferroviaires sur le partage modal ; enfin les conséquences macroéconomiques des infrastructures sont dans l'ensemble jugées faibles, et semblent résider essentiellement dans des effets de localisation, sans influence forte sur le volume total d'activité. Il n'en va pas de même pour les infrastructures urbaines qui, à long terme au moins, ont des effets majeurs sur la structure urbaine et donc sur le développement durable ; on connaît la dualité « transports collectifs-ville dense » et la dualité inverse « automobile-étalement

urbain », avec les conséquences bien connues sur la consommation énergétique et l'artificialisation des sols ; au niveau des zones urbaines, la stratégie à long terme est fortement influencée par la politique d'infrastructures des transports, et les deux doivent être étudiés conjointement et non séparément.

Encadré 1. Le rôle limité des investissements d'infrastructure dans l'évolution du partage modal

L'idée qu'il suffirait d'investir dans les modes économes en environnement, essentiellement les transports collectifs, pour réduire sensiblement les atteintes en termes d'externalités et pour modifier le partage modal, est illusoire. A elle seule, la construction d'infrastructure ne peut modifier profondément le partage modal. On l'a constaté dans les expériences de développement des transports collectifs urbains ; l'augmentation de fréquentation que ces transports collectifs ont connu s'est produite pour une part importante du fait d'usagers nouveaux, qui auparavant ne se déplaçaient pas ; une autre part, plutôt minoritaire, vient d'anciens usagers de l'automobile ; mais la place qu'ils ont libérée sur les routes et dans les rues a été occupée par de nouveaux automobilistes qui ont voulu profiter de l'amélioration des conditions de circulation. Une autre illustration de cette incapacité de la politique d'infrastructure prise isolément à bien orienter les choix des usagers se lit dans le bilan des liaisons ferroviaires TGV en termes de trafic. Les chiffres clés indiqués dans le tableau ci-dessous sont issus d'un cas fictif représentatif d'une situation moyenne. Ils montrent que l'effet du TGV sur la réduction du trafic routier est négligeable ; il ne correspond guère à plus d'une ou deux années de croissance du trafic routier.

Trafics en millions de voyageurs par an	Avant	Après	Différence	
			En valeur absolue	(en pourcentage)
Route	25,0	24,5	0,5	(-2%)
Avion	8,5	6,7	1,8	(-20%)
Fer	9,0	13,5	4,5	(+50%)

Source : A. Quinet et E. Quinet (2012) : « La gouvernance des projets d'infrastructure de transports », *Revue Transport*, février.

On doit également s'interroger sur les scénarios testés dans ces études. Ces scénarios, spécifiques à chaque étude, sont établis sur la base de politiques volontaristes imaginées par les analystes ; s'ils respectent en général les objectifs fixés par les autorités publiques, ils ne traduisent pas des décisions quant aux moyens à mettre en oeuvre, même s'ils comportent des éléments de politique dans la main des décideurs, comme par exemple le pourcentage de réduction des émissions de CO². On ne peut d'ailleurs que s'interroger sur le décalage entre les objectifs ainsi fixés et les mesures qui seraient nécessaires à leur obtention d'une part, et d'autre part les tendances révélées par l'observation des décisions concrètes ; l'analyse des Livres Blancs de la Commission de l'Union Européenne est à cet égard édifiant, tout comme, en France, l'écart entre les objectifs de réduction des émissions par un facteur 4 en 2050 et les décisions publiques prises pour le moment au moins dans cette perspective. Il faudrait des changements drastiques de politiques pour arriver à satisfaire ces objectifs, qu'on a donc du mal à les considérer comme des données exogènes fermes et non révisables. On ne voit pas non plus comment il serait possible de les endogéniser, c'est-à-dire de modéliser le comportement des pouvoirs publics et la manière dont se fera l'adaptation entre objectifs et mesures permettant de les atteindre.

Notons que l'analyse coût-bénéfice peut aider à définir les stratégies de long terme et les scénarios de référence ; mais elle ne saurait suffire, et cela pour deux raisons. L'une tient à la nature de ces stratégies de long terme, qui comportent des choix qualitatifs comme ceux qui concernent le mode de vie. L'autre tient à la nature même de l'analyse coût-bénéfice, dont le domaine d'excellence est la comparaison de variantes ; mais l'énumération est la seule méthode de choix de la variante optimale lorsque les variantes sont trop nombreuses, comme c'est le cas pour les avenir possibles,

Enfin il importe que ces scénarios soient normés, c'est-à-dire que les mêmes scénarios soient utilisées pour tous les projets afin d'assurer la comparaison des évaluations des différents projets entre eux. Cette normalisation peut être difficile en termes de décision politique. Elle le sera aussi en termes de prise en compte de l'incertitude. Car les stratégies de long terme ne peuvent se concevoir sans intégrer les risques importants qui les accompagnent. C'est ce qu'on va voir maintenant.

3. L'INCERTITUDE

On traitera sous ce titre le risque proprement dit, celui qui est probabilisable. On peut légitimement soutenir qu'il y a aussi pour certains phénomènes une incertitude plus fondamentale, sur laquelle il n'est même pas possible de placer des probabilités. Les méthodes théoriques pour gérer ces situations existent, mais sont peu opérationnelles ; en outre il est bien rare qu'on n'ait pas une petite idée de la vraisemblance de telle ou telle issue. Aussi, les réflexions qui suivent vont se placer dans la situation de risque probabilisable, suivant en cela d'ailleurs le courant initié par les rapports antérieurs précédemment cités.

Les sources de risque dans l'évaluation des projets sont nombreuses. Il y a d'abord le biais d'optimisme, largement documenté dans la littérature, ainsi que, une fois le biais d'optimisme éliminé, les incertitudes portant sur les coûts de construction et de fonctionnement ainsi que sur la précision du modèle de trafic et ses résultats à la mise en service. Ces types de risques se résolvent à la mise en service du projet. Ils ne portent pas sur le long terme et, au moins en première analyse, ne sont pas liés aux évolutions macro-économiques. On ne va pas en traiter, et la suite va se centrer sur les risques portant sur le long terme et liés aux évolutions macro-économiques, appelés risques systémiques.

Comme le montre l'encadré joint, leur prise en compte est intimement liée au système d'actualisation et à la séparation du taux d'actualisation classique en deux termes, l'un représentant le taux sans risque et l'autre la prime de risque attachée au projet, et lié à la corrélation entre les effets du projet et la croissance économique. L'analyse est formellement similaire à celle faite couramment en analyse financière : Sous certaines hypothèses simplificatrices, l'effet de risque correspondant est mesuré par le produit traditionnel $\phi\beta$, où ϕ est appelé la prime de risque, un paramètre commun à l'ensemble des projets, et où β mesure le lien entre les avantages du projet et l'activité économique, c'est un paramètre spécifique au projet. Avec ces notations, l'actualisation des avantages d'un projet s'exprime commodément en appliquant à chaque projet le

taux : $r = r_f + \phi\beta$ où r est le taux d'actualisation risqué propre au projet, r_f est le taux sans risque et $\phi\beta$ représente la prime de risque du projet⁸. Ces considérations générales, dans la ligne du rapport Gollier 2011, ont inspiré le rapport de 2013 qui les a insérés dans un cadre opérationnel.

Encadré 2. La prise en compte du risque systémique, vue générale

Soit un investissement dont le coût de construction, mesuré en euros constants, est $I(t)$ si il est réalisé à l'instant t , et dont les avantages, mesurés à l'instant t en euros constants sont $a(t)$.

Plaçons nous d'abord en univers certain. L'utilité de ces avantages, comme la désutilité du coût, dépendent de la richesse de la collectivité à l'année où ils se réalisent : un euro gagné a d'autant plus de valeur qu'on est pauvre. Pour traduire cette variation de l'utilité retirée d'un euro en fonction de la richesse on pondère les avantages exprimés en euros constants par une fonction décroissante de la richesse. Des considérations théoriques, comme le souci de simplicité, conduisent à prendre comme facteur de pondération un coefficient de la forme : $Y(t)^{-\gamma}$ où γ est un coefficient positif⁹. Dans ces conditions, la VAN de l'investissement, exprimée en termes d'utilité et non d'euro, et supposé mis en service à l'année T , s'écrit :

$$VAN(T) = \int_T^{\infty} a(t) * Y(t)^{-\gamma} e^{-\delta t} dt - I(T) * Y(T)^{-\gamma} e^{-\delta T}$$

Expression où δ est un coefficient représentant la préférence pour le présent. Faisons l'hypothèse que $Y(t)$ évolue selon une croissance à taux constant :

$$Y(t) = Y(0) * e^{\mu t}$$

ou encore :

$$\frac{dY(t)}{Y(t)} = \mu * dt$$

On voit alors que :

$$VAN(T) = Y(0) \left\{ \int_T^{\infty} a(t) * e^{-\mu\gamma - \delta t} dt - I(T) * e^{-\mu\gamma - \delta T} \right\}$$

On retrouve l'expression classique du taux d'actualisation : $r = \delta + \mu\gamma$

Le problème qu'on se pose est alors de déterminer le moment où il faut faire l'investissement, et s'il faut le réaliser. La solution est bien connue (Abraham 1960), et fort simple ; sous des conditions peu restrictives¹⁰ : il faut faire l'investissement à l'année où le taux de rentabilité immédiate est égal au taux d'actualisation – immédiatement si le taux de rentabilité immédiate est supérieur au taux d'actualisation-, et vérifier que la VAN est positive. Cette règle suppose que le projet considéré est un projet isolé, sans relation avec d'autres projets. Elle se généralise au cas de projets liés.

Lorsque l'on se situe dans un univers aléatoire, les chroniques de $a(t)$, $Y(t)$ et $I(t)$ sont aléatoires. Faisons l'hypothèse qu'elles suivent des mouvements browniens définis

comme suit:

$$d\text{Log}(Y(t)) = \mu dt + \sigma_1 dw_1$$

$$d\text{Log}(a(t)) = g dt + \sigma_2 dw_2$$

$$d\text{Log}(I(t)) = k dt + \sigma_3 dw_3$$

en outre, les deux derniers processus, indépendants entre eux, sont corrélés au premier:

$$dw_2 = \rho dw_1$$

$$dw_3 = \rho_l dw_1$$

On démontre¹¹ alors que la VAN résultant de la mise en service à l'année 0 s'écrit sous la forme:

$$VAN(0) = Y(0) \left\{ \int_T^{\infty} a(0) * e^{-(r_f + \beta_a \varphi)t} dt - I(0) * e^{-(r_f + \beta_l \varphi)t} \right\}$$

Expression dans laquelle :

$$r_f = \delta + \gamma \mu - 0,5 \gamma^2 \sigma_1^2$$

$$\varphi = \gamma \sigma_1^2$$

$$\beta_a = \rho \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

$$\beta_l = \rho \frac{\sigma_3}{\sigma_1}$$

On retrouve l'expression du taux sans risque r_f , de la prime de risque φ et des β qui sont les coefficients de régression respectivement des avantages et des coûts sur le PIB.

La note de B Lapeyre et E Quinet, figurant en annexe du rapport sur l'évaluation socio-économique des investissements publics, fournit également des règles pour le choix des projets. Celles-ci sont marquées par le fait que les chroniques sont aléatoires : on ne peut pas calculer de VAN certaine, juste des espérances de VAN dans le cas d'une mise en service à une date donnée. Dans ces conditions, la décision de réalisation de l'investissement présente des analogies avec la détermination de la date de levée d'une option financière. La note précitée fournit une formule exacte et propose une règle approchée simple qui revient à dire qu'il faut faire l'investissement lorsque le taux de rentabilité immédiate atteint un certain seuil pour lequel on recommande la valeur de 4,5%.

La prise en compte du risque systémique aboutit à une réduction de la valeur des avantages attendus des investissements si ces avantages attendus sont positivement corrélés avec l'activité économique, dont ils amplifient alors les fluctuations, et vice-versa si la corrélation est négative, auquel cas ils ont un effet stabilisateur bénéfique.

Ces concepts sont bien connus et d'un usage courant en analyse financière. Toutefois l'analogie avec les calculs financiers est surtout formelle, et même si la comparaison

avec les marchés financiers fournit des repères utiles, les valeurs des paramètres en analyse socio-économique sont différentes de celles utilisées en finance ; en particulier, ils ne peuvent être calculés projet par projet, mais simplement par classe de projet.

Le rapport propose un taux sans risque de 2,5 % - avec une décroissance progressive jusqu'à 1,5 % au-delà de 2070 et une prime de risque de 2 % passant à 3 % à partir de 2070. Ce choix est proposé en fonction de considérations intégrant à la fois les enseignements des marchés, les considérations macroéconomiques, et les préoccupations intergénérationnelles du long terme. En raison du caractère novateur de ces dispositions, le rapport recommande également de mener les calculs avec un taux d'actualisation unique de 4,5 %, ce durant une période transitoire qui sera consacrée à étudier le retour d'expérience sur le système, à préciser les méthodes d'éligibilité des projets et à ajuster les paramètres que ce nouveau système fait intervenir.

Le rapport propose de premières estimations des valeurs des bêtas par grandes catégories de projets dans le cas des transports ; ces coefficients se situent entre 1,0 et 1,5 selon les modes de transports.

Enfin le rapport aborde l'élaboration de méthodes d'éligibilité des projets cohérentes avec ce nouveau système d'actualisation et de prise en compte du risque systémique. Le principe (maximisation de la valeur actuelle nette) est le même qu'antérieurement, mais son insertion dans un cadre aléatoire en change très sensiblement les modalités de mise en œuvre, qui se rapprochent sur le plan formel des pratiques financières (voir l'encadré 2).

4. LES EFFETS DE STOCK

4.1 Carbone

Il y a deux manières d'aborder la question du coût du carbone. La première vise à la déterminer à travers une démarche coût-bénéfice et répond à la question : quelle est la valeur qui optimise le niveau des émissions de carbone ? C'est la plus satisfaisante intellectuellement, elle correspond à la démarche usuelle pour toutes les monétarisations des effets sur l'environnement, tels que la pollution de l'air ou le bruit. Elle se heurte toutefois à des difficultés de mise en œuvre à la fois sur le plan technique et sur celui des conclusions à en tirer. Sur le plan technique ces difficultés ont été illustrées par les débats autour du rapport Stern qui avait adopté cette approche. L'autre catégorie de difficulté présentée par une démarche coût-bénéfice tient au caractère international de l'externalité liée au CO². Si en effet on se place du point de vue du bien-être d'un pays particulier, les bénéfices qu'il retire de contraintes qu'il s'imposerait en matière d'émissions de CO² sont très réduits, et ne justifieraient que des mesures très limitées ; si en revanche on se place à un niveau global, on peut s'interroger sur la pertinence des résultats pour les décisions concernant un pays particulier tant que les autres pays ne prennent pas les décisions concomitantes ; une

démarche globale ne prend tout son sens que si on la considère comme un élément de décision pour une instance internationale telle que l'ONU.

Ces inconvénients ne se retrouvent pas dans la démarche du type coût-efficacité qui est utilisée par les instances françaises : elle vise à rechercher le prix fictif du carbone qui permettrait d'atteindre les engagements pris par la France en termes d'émissions de CO². Notons d'ailleurs que ces engagements français recouvrent largement les accords européens en la matière, et sont beaucoup plus exigeants que les accords pris au niveau mondial. La France se trouve confrontée à trois ensembles d'engagements majeurs :

- le protocole de Kyoto qui engage juridiquement les principaux pays qui l'ont ratifié à réduire leurs émissions annuelles de gaz à effet de serre sur la période 2008-2012 par rapport à 1990 ;
- les engagements européens à réduire les émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2020¹² de 20 % par rapport à 1990 de manière unilatérale voire 30 % en cas d'une mobilisation plus forte des pays sur les objectifs climatiques ;
- les perspectives du gouvernement français annoncées dans le cadre de la loi de programmation fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE du 13 juillet 2005) qui soutenait la définition d'un objectif de division par deux des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici à 2050 et donc d'une réduction par 4 des émissions pour les pays développés.

La question avait fait l'objet d'un premier rapport d'ensemble en 2009 : « La valeur tutélaire du carbone » (A Quinet), dont les conclusions ont été revues et mises à jour en 2012 dans le cadre du rapport sur l'évaluation socio-économique des investissements publics. On va d'abord présenter la démarche suivie en 2009, puis les mises à jour effectuées en 2012-2013.

4.2 Les préconisations du rapport de 2009

Le rapport de 2009 s'était d'abord appuyé sur les évaluations fournies par les études menées alors ; le tableau 1 suivant, extrait du rapport cité, fournit un échantillon des résultats fournis par les institutions officielles :

Tableau 1. **Synthèses des valeurs de la tonne de carbone fournies par quelques institutions officielles** (en Euro 2008)

	France (Boiteux II)	Royaume- Uni (DEFRA)	Union européenne (a)	États-Unis (b)		
				IGSM	MERGE	MiniCAM
2010	32	40 (27,6 £)		nd	nd	nd
2020	43	49 (33,6 £)	40 [17-70]	54	23	20
2030	58	60 (40,9 £)	55 [22 70]	81	40	36
2050	104	88 (60,8 £)	85 [20 180]	177	120	98
Objectif ppme	Nc	450-550	450	550* (c)	550*	550*
Taux actualisation	8 %	3,5 %	4 %	(3-7 %) (d)		
Croissance de la valeur carbone	3 %	2 %	2,5 % (e)	4 % (f)	5,7 %	5,4 %

(a) Handbook on Estimation of External Cost in Transport Sector (produced within the study : Internalisation Measures and Policies for all External Costs of Transport, IMPACT, DELFT, décembre 2007. Source : Centre d'analyse stratégique

(b) Les valeurs données en dollars sont considérées ici comme des valeurs 2008 (le rapport a été publié en juillet 2007) : on considère par ailleurs un taux de change compatible de 1,3 (sur la période 2004-2007, il a oscillé entre 1,2 et 1,3).

(c) 450 ppme, CO₂ seul.

(d) Le rapport Lebègue rappelle en 2005 qu'on trouve plusieurs références : le General Accounting Office indique que le taux retenu doit être égal à celui des obligations du Trésor, dont la maturité correspond à la durée des projets évalués. En 2005, ces taux étaient compris entre 3,5 % et 4 %.

(e) et (f) Taux de croissance annuels recalculés sur la base des valeurs affichées en 2020 et 2050.

Il avait également fondé ses conclusions sur plusieurs sortes de considérations. Les premières résidaient dans les signaux de prix fournis par les marchés européens du carbone. Ceux-ci ont évolué de façon erratique comme le montre le graphique joint, suivant des logiques de court terme et des considérations politiques concernant l'étendue du marché et ses règles de fonctionnement beaucoup plus que selon des considérations d'équilibre de long terme. Si maintenant leur déconnexion d'avec la logique économique de long terme semble totale, dans les années 2005-2006 leurs résultats fournissaient des estimations du même ordre de grandeur que les calculs économiques de l'époque.

Enfin, le rapport s'était fondé sur des travaux particuliers de modélisation à travers trois modèles différents : POLES, GEMINI-III et IMACLIM-R, dont les caractéristiques principales sont reportées ci-dessous dans le tableau 2.

Tableau 2. **Modèles utilisés en 2009 pour déterminer le prix fictif du carbone**

Équipe	Modèle	Famille	Caractéristiques
LEPII	POLES	Modèle d'équilibre partiel du système énergétique	Par région (47), simulation de la demande énergétique, des choix technologiques et de l'équilibre des marchés énergétiques
C-ORDEE & MEDAD	GEMINI E3	Modèle d'équilibre général calculable de l'économie mondiale	Par région (14) et par secteur (18), description des ressources : production (travail, énergie, capital, etc.) / importations et emplois : consommations, exportations, investissements. Calcul des échanges internationaux de biens et de services et des émissions de GES des activités économiques
CIREC	IMACLIM-R	Modèle d'équilibre général hybride	Description de la croissance comme succession d'équilibres généraux annuels en prix et en quantités physiques (12 régions/12 secteurs), reliés par des modules dynamiques technico-économiques sectoriels (dynamique macroéconomique, évolution des styles de développement, progrès technique). Émissions : CO ₂

Chacun de ces modèles a été utilisé dans trois scénarios différents, dont les caractéristiques sont reproduites ci-dessous dans le tableau 3¹³.

Tableau 3. **Caractéristiques des scénarios testés**

Scénario de contraintes sur les émissions de GES	2020	2050	Accord international
	Objectif de réduction de l'Europe (base 1990)		
Scénario Europe seule	- 20 %	- 60 %	Aucun (valeur du carbone propre à l'Europe)
Scénario coordonné	- 30 %	- 80 %	Objectif 550 ppme (valeur du carbone unique à l'échelle mondiale)
Scénario mondial volontariste			Objectif 450 ppme (valeur du carbone unique à l'échelle mondiale)

Source : Centre d'analyse stratégique

Les résultats principaux fournis par ces modèles sont rassemblés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4. Résultats des simulations

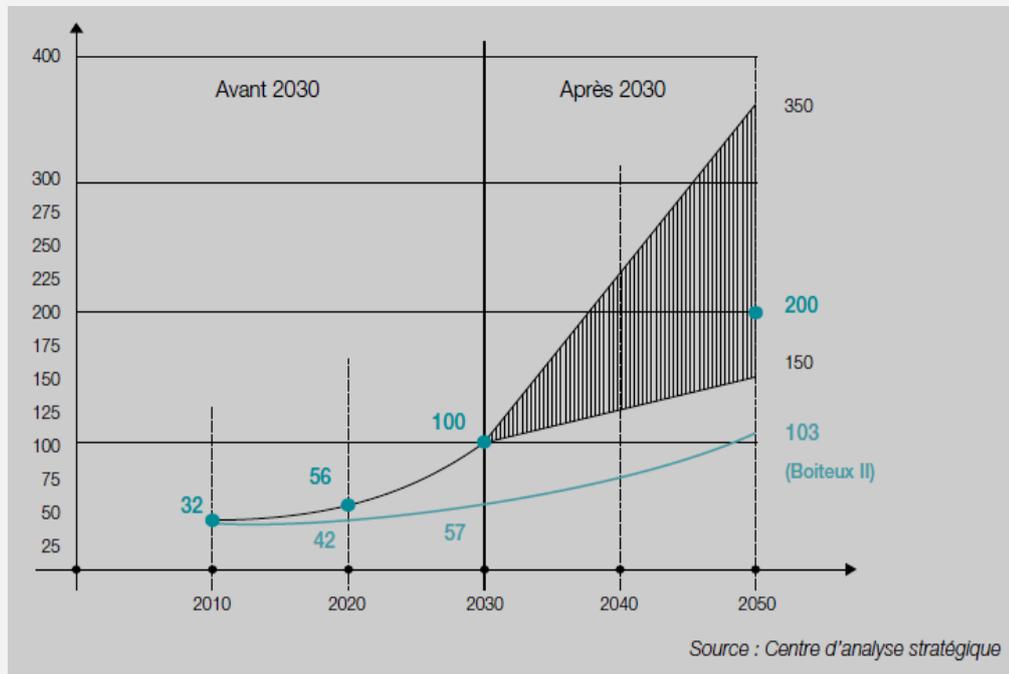
	Scénario Europe seule €/tCO ₂	Scénario coordonné - 550 ppme €/tCO ₂	Scénario mondial volontariste - 450 ppme €/tCO ₂	Prix pétrole \$/b
En 2010				
POLES	10			
GEMINI-E3	1			
IMACLIM-R	45			
Moyenne	19			
Valeur tutélaire Boiteux	32			
En 2020				
POLES	26	9	16	79
GEMINI-E3	25	4	13	57
IMACLIM-R	95	30	100	93
Moyenne	49	14	43	76
Valeur tutélaire Boiteux		43		41
En 2030				
POLES	97	23	57	96
GEMINI-E3	58	10	42	62
IMACLIM-R	150	55	160	94
Moyenne	102	29	86	84
Valeur tutélaire Boiteux		58		50
En 2050				
POLES	319	85	682	130
GEMINI-E3	446	62	339	60
IMACLIM-R	130	60	200	114
Moyenne	298	69	407	101
Valeur tutélaire Boiteux		104		74

Enfin, on s'était attaché à éclairer l'évolution dans le temps de la valeur, non seulement à travers l'exercice de modélisation précédent, mais aussi à travers des considérations théoriques fondées sur des modèles simples. La conclusion fut que la

valeur du carbone devait en gros suivre une règle à la Hotelling (voir le chapitre 7 écrit par J Maurice dans les annexes au rapport A Quinet 2009). Plus précisément, ces considérations théoriques montraient que le rythme de croissance devait être un peu supérieur au taux d'actualisation (la différence étant liée aux rythmes d'absorption du CO²) tant que le seuil de concentration maximal admissible n'était pas atteint, et ensuite croître moins vite puis décroître, jusqu'à s'annuler lorsque les ressources naturelles seraient épuisées, suivant ainsi une évolution en forme de chapeau de gendarme.

L'étude de 2009 a effectué ses propositions par synthèse de ces multiples éléments d'information et de connaissance. Elle a fixé une valeur pivot pour 2030, prise égale à 100 Euro 2008 par tonne de carbone, et fondée essentiellement sur une synthèse raisonnée et une analyse critique des résultats des modèles. En deçà la règle de Hotelling n'a pas été suivie, car elle aurait conduit à une valeur du carbone en 2009 assez élevée, de 45 Euro, en rupture par rapport à la valeur adoptée jusque là- qui était de 26 euro- et très éloignée de la valeur donnée par les marchés de permis à l'époque, qui se situait aux alentours de 20 Euro. Un consensus, de nature politique, s'est fait autour d'une valeur de 32 euro par tonne de CO². Au delà de 2030, l'évolution selon la règle de Hotelling soit au rythme de 4% (taux d'actualisation de l'époque) était retenu, jusqu'en 2050, date à laquelle la valeur devenait égale à 200Euro. La recommandation était émise de faire des tests de sensibilité à 150 et à 300 euro pour cette date.

Figure 1. La valeur du CO₂ recommandée par la commission A. Quinet



4.3 La révision de ces dispositions en 2013

On aurait pu penser reprendre en 2012-2013 les exercices de modélisation faits en 2009, Mais peu de temps s'est écoulé depuis le rapport de 2009, et pour reprendre ces exercices il aurait fallu approfondir ou réviser la composition du bouquet énergétique, qui fait débat dans de nombreux pays. Plusieurs ont décidé la sortie du nucléaire, la part des énergies non renouvelables est actuellement une question, avec les conséquences qu'on sait sur le recours aux énergies fossiles et le niveau des émissions de gaz à effet de serre ; la mise en exploitation industrielle des gaz de schiste aura des conséquences ambigües sur le réchauffement planétaire, selon qu'ils se substituent à des énergies plus émettrice (le charbon) ou moins émettrices ; la place que prendra le véhicule électrique est encore mal définie.

Tout ceci a conduit à considérer qu'une remise en chantier de la valeur du carbone qui devait constituer une étude lourde et longue, n'était pas compatible avec les délais impartis au groupe, même si une telle étude méritait d'être menée à relativement brève échéance. Il a donc été décidé d'effectuer simplement des ajustements à la marge pour tenir compte des nouvelles données économiques et du changement dans le système d'actualisation

La valeur de 100 Euro (valeur 2008) en 2030 n'a pas été modifiée : elle avait été l'objet d'un consensus entre des parties prenantes dont les positions étaient très éloignées, et il n'a pas semblé souhaitable de remettre en cause cet accord, d'autant que les bases scientifiques sur lesquelles il était fondé restaient valables : elles résultaient des sorties de modèles qu'on avait décidé de ne pas remettre en cause.

Restait alors à fixer la chronique des valeurs pour les différentes années antérieures et postérieures à 2030 à partir de cette base. Comme les évolutions fixées dans le rapport de 2009 étaient fondées, à travers la règle de Hotelling, sur le taux d'actualisation, il convenait d'adapter ces évolutions aux décisions prises le concernant : le nouveau système comporte un taux sans risque de 2,5% et une prime de risque de 2%, avec en variante un taux unique de 4,5% (contre 4% antérieurement).

C'est pour la variante avec un taux unique de 4,5% que les adaptations sont les plus simples : il est connu que dans une logique à la Hotelling, un accroissement du taux d'actualisation conduit à augmenter le taux de croissance du prix fictif, qui passe de 4% à 4,5%. Corrélativement, la valeur initiale est abaissée, et accessoirement le temps, fort éloigné, où l'arrêt de l'utilisation de la ressource non renouvelable se produira, se trouve rapproché.

Avec le nouveau système d'actualisation comportant une prime de risque et un taux sans risque, les choses sont plus compliquées. Il faut d'abord déterminer le coefficient β à appliquer aux changements dans les émissions de gaz à effet de serre. On sait très peu de choses sur la valeur de ce coefficient, pour lequel deux causalités se présentent, liées à la source des incertitudes et au sens des causalités. On les exposera en s'inspirant étroitement d'un WP de Gollier (Gollier 2012). La première met l'accent sur les incertitudes relatives aux émissions de CO² et à leurs conséquences en termes de dommages. Dans cette perspective, une réduction des émissions de CO² a un effet positif sur le PIB, et la corrélation entre les deux est négative ainsi donc que le bêta. Dans la causalité inverse, les incertitudes portent essentiellement sur le PIB : une réduction du PIB conduit à une réduction des émissions, la corrélation entre les deux est positive, le bêta est positif.

Laquelle de ces deux causalités l'emporte ? Les preuves en la matière sont peu nombreuses. Des tests effectués par Gollier dans le texte précité et simulant l'effet combiné des deux incertitudes, avec des plages vraisemblables pour chacune d'elles, plaident pour un bêta positif, compris entre 1 et 2 : ce sont ces valeurs qui reproduisent le mieux la corrélation entre les évolutions du coût social du carbone et celles du PIB. Compte tenu des opinions existantes en faveur d'un bêta négatif, c'est un bêta de un qui a été retenu. Il faut bien voir la signification de ce paramètre : il doit être utilisé quand il s'agit d'actualiser la variation de surplus résultant d'une modification des émissions de gaz à effet de serre pour une année future : le taux correspondant sera de : $r_{t+1} * \varphi = 0,025 + 1 * 0,02 = 0,045$

Dans le cas d'un investissement particulier qui a pour effet d'engendrer à l'année future t une économie de x_t tonnes de CO², il faut aussi tenir compte de l'incertitude sur les quantités x_t , et donc d'un β_x sur les quantités, traduisant la corrélation entre les quantités x_t économisées et le PIB.

Enfin pour calculer une variation de surplus, il faut aussi disposer du prix fictif de la tonne de CO² au temps t , c'est-à-dire de l'évolution du prix relatif du carbone. Dans les procédures antérieures où l'incertitude n'était pas prise en compte et où le taux d'actualisation était unique, le prix fictif à l'année t se déterminait à partir du prix fictif de l'année de base –ici 100 Euro en 2030– par application d'un taux de croissance égal au taux d'actualisation, selon la règle d'Hotelling. On aboutissait ainsi au résultat que la valeur actualisée d'une tonne de carbone était la même quelque soit l'année où elle est émise ; la démonstration de ce résultat est fondée sur l'idée que, s'il n'était pas vérifié, des arbitrages inter-temporels permettraient d'augmenter la valeur sociale actualisée totale du gisement, donc le bien-être total.

Sous réserve d'une analyse plus approfondie, il est apparu que le même raisonnement était applicable en présence d'un taux intégrant le risque, et donc que le taux de croissance du prix du carbone devait être égal au taux d'actualisation risqué qui lui est propre, soit, comme on l'a vu précédemment, 4,5%.

Quelles conséquences pour l'évolution du prix fictif du carbone à partir de la valeur de 100 Euro choisie pour l'année pivot 2030 ?

Normalement cette règle aurait du conduire à baisser la valeur 2010. D'autres facteurs militaient en faveur de cette option : la crise économique a rendu les engagements internationaux pris plus faciles à tenir ; les prix fournis par le marché des permis ont baissé de façon considérable. Mais il faut prendre à l'inverse en considération que le niveau choisi pour le prix fictif en 2009 était peut-être un peu trop bas, que les signaux du marché des permis ne sont pas fiables en raison notamment des dysfonctionnements de ce marché, et que proposer une baisse de la valeur du carbone aurait été un mauvais signal à l'égard de l'opinion publique et des décideurs politiques, d'autant que les dernières études du GIEC confirment l'accélération du réchauffement planétaire. Ces raisons ont conduit à maintenir la valeur 2010 et la croissance entre 2010 et 2030. En revanche le taux de croissance de 4,5% par an a été retenu entre 2030 et 2070, alors que les anciennes dispositions ne fournissaient de valeur que jusqu'en 2050.

Il est à peine besoin de mentionner et souligner les nombreuses incertitudes qui affectent ces déterminations, qu'elles soient technologiques (date d'épuisement des ressources non renouvelables, volume total des gisements exploitables, importance des dommages résultants des émissions, possibilités d'absorption du CO², ...) ou

politiques (politiques énergétiques des pays, accords internationaux, tarification des énergies non renouvelables, ...) ; signalons aussi que la justification de la règle de Hotelling pour fonder la croissance du prix du carbone suppose une économie en situation d'optimum premier (first best), ce qui est loin de refléter la situation réelle. Normalement le prix du carbone, ainsi que son évolution devraient être déduits des stratégies à long terme et des scénarios de référence qui comprendront bien d'autres clauses et dispositions que celles qui résulteraient d'une situation de first best ; ce point apparaît bien dans le texte de Rozenberg, Vogt-Schilh et Hallegatte (2013).

4.4 Biodiversité

La biodiversité recouvre un ensemble de qualités et de caractéristiques complexes, aux contours mal définis et non totalement explorés et qui en outre sont très spécifiques aux situations locales : quoi de commun entre une prairie ordinaire, un écosystème humide et une forêt?

De ce fait, l'attribution d'une valeur économique à la biodiversité se heurte à de nombreuses difficultés. Certes l'idéal serait de disposer de valeurs permettant une prise en compte des multiples atteintes à la biodiversité causées par les infrastructures de transport, tant par leur construction, que par leurs usages et les impacts induits de leur utilisation tels que par exemple l'urbanisation induite. En attendant la préoccupation de biodiversité se traduit par des engagements et des contraintes réglementaires telles que la politique du « no net loss » (pas d'augmentation de l'artificialisation des sols) ou la règle : « éviter réduire compenser ».

De nombreux travaux en France et à l'étranger se sont donnés comme objectif de contribuer à estimer la valeur économique de la biodiversité et de ses services écosystémiques. En France, le rapport Chevassus-au-Louis (2009) marque une étape en faisant un bilan des connaissances scientifiques et en proposant un cadre méthodologique pour estimer la valeur économique de la biodiversité¹⁴. Parmi les composantes de la valeur économique totale (VET) de la biodiversité, le rapport met l'accent sur les valeurs d'usage de la biodiversité ordinaire. À titre de test méthodologique, les auteurs proposent un calcul des valeurs de quelques services écosystémiques produits par la biodiversité ordinaire de deux types de milieux (forêts tempérées et prairies permanentes) et dont profite la société.

Les travaux qui ont suivi ce rapport ont cherché à ajouter des briques supplémentaires à l'estimation de la VET en y intégrant la valeur de non-usage de la biodiversité par des techniques d'analyse conjointe (notamment CGDD, 2011).

Néanmoins il apparaît que les valeurs de la biodiversité estimées dans ces rapports sont des valeurs a minima ne représentant qu'une partie du champ des services écosystémiques produits par les écosystèmes en question. Dans l'état actuel des connaissances, ces valeurs sont apparues trop lacunaires et trop peu robustes pour pouvoir être utilisées en tant que telles dans le calcul socio-économique.

En attendant la fixation future éventuelle de valeurs de référence reconnues par les diverses parties prenantes de la gestion d'un territoire, le principe de la démarche « éviter, sinon réduire et, enfin, compenser » est utilisé afin de prendre en compte les objectifs de biodiversité, non en évaluant le coût des réductions de biodiversité entraînés par l'infrastructure, mais en intégrant dans le coût de réalisation les suppléments nécessaires au maintien du niveau antérieur de biodiversité, et en

fournissant à chaque stade de l'étude du projet où il apparaît une idée de la précision de sa détermination.

Mais il est clair qu'il s'agit d'une situation insatisfaisante, dans la mesure où l'application de ce principe comporte de nombreuses décisions de nature subjective qu'il serait justement nécessaire d'éclairer par le calcul économique. Actuellement, en attendant des progrès ardemment attendus, on ne peut l'utiliser que comme encadrement, en faisant apparaître des valeurs minimales tirées des études précitées ou des valeurs de basculement telles que : « si on prend telle décision pour conserver la biodiversité, c'est que celle-ci vaut au moins... »

4.5 Valeur des sols agricoles

Un débat commence à naître en France, suscité par les parties prenantes telles que les associations d'exploitants agricoles ou les associations environnementales, concernant la valorisation des terrains agricoles, actuellement estimée par leur valeur vénale. On peut contester que cette valeur traduise bien la valeur des terrains agricoles pour la collectivité.

Comme l'indique la FAO (1999¹⁵), l'agriculture remplit différentes fonctions pour la société : une fonction alimentaire, une fonction écologique, une fonction économique et une fonction sociale.

La multifonctionnalité des sols agricoles fait ainsi référence à de nombreux biens et services qui, en dehors des produits agricoles de base, ne s'échangent pas sur le marché en raison de leurs caractéristiques de biens publics ou d'externalités. Leur analyse a fait l'objet d'une littérature relativement abondante, notamment de l'OCDE au début des années 2000. Mais elle n'a pas donné lieu à des estimations intégrées de la valeur collective des sols agricoles. Celle-ci devrait refléter l'ensemble de ces fonctions, qui se traduisent en gros par le gain de l'agriculteur corrigé du montant des subventions allouées, auquel il faut ajouter la valeur nette des services écosystémiques rendus par la surface agricole (externalités positives liées à la biodiversité agricole et externalités négatives dont pollution, érosion, etc.), la valeur de la fonction alimentaire (indépendance alimentaire et sécurité alimentaire), le tout vu d'un point de vue prospectif, intégrant les perspectives de long terme.

5. LES EFFETS DE FLUX

5.1 Pollution

Les méthodes actuellement en vigueur en France ont été mises en œuvre dans la période du début des années 2000 ; elles sont fondées essentiellement sur des procédures *Top-Down*, dans lesquelles on répartit entre les différents véhicules un coût total de la pollution au niveau national. On a mis à jour les procédures correspondantes en se fondant largement sur les études européennes menées sur le sujet, en particulier les ExternE (2005), CAFE (2005) ou encore le programme HEATCO (2006) qui ont permis des avancées significatives dans la modélisation des émissions

de polluants, de leurs effets sur la santé et l'environnement ainsi que dans la monétarisation de ces effets. Ces travaux reposent sur la méthodologie globale *Impact Pathway Approach* (ou approche « *bottom-up* ») initialement développée dans le projet ExternE puis reprise et améliorée dans les projets ultérieurs. Les résultats de ces travaux alimentent ensuite des démarches plus sectorielles telles que le *Handbook of external costs in the transport sector* (2008) ou celui de CE Delft/INFRAS (2011) qui visent à dégager des valeurs monétaires de référence pour le calcul socio-économique dans le secteur des transports.

La mise à jour effectuée est partie des valeurs proposées dans le *Handbook* de 2008 en tenant compte de quelques adaptations au cas français pour tenir compte de l'augmentation de la valeur de la vie humaine proposée et qui passe de 1,5 millions d'Euro à 3 millions d'euro ; corrélativement, la valeur de l'année de vie qui est de 46 000 Euro dans le *Handbook* a été prise égale à 115000 Euro pour la France. On a également tenu compte de ce que les valeurs du *Handbook* étaient essentiellement fondées sur la situation allemande, alors que les types de véhicules et les densités sont très différentes en France.

On fournit ici à titre d'exemple, les valeurs recommandées pour le mode de transport routier, dans le tableau 6 joint.

Tableau 6. **Valeurs tutélaires pour le transport routier (émissions dues à la combustion et à l'usure)**

€2010/100 véh.km	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain
VP	11,1	3,1	1,3	1,0	0,9
VP diesel	13,8	3,8	1,6	1,3	1,0
VP essence	4,5	1,3	0,6	0,5	0,5
VP gpl	3,5	1,0	0,4	0,3	0,1
VUL	22,0	6,1	2,5	1,9	1,5
VU diesel	22,9	6,3	2,6	2,0	1,6
VU essence	6,3	1,9	0,9	0,8	0,8
PL Diesel	186,6	37,0	17,7	9,4	6,4
Deux roues	8,7	2,5	1,0	0,8	0,5
Bus	125,4	24,8	11,9	6,3	4,2

Source : CAS.

Quant à l'évolution de ces valeurs, une réduction annuelle de 6 % sur la période 2010-2020 liée au développement des véhicules Euro/EURO 5 et 6 semble bien tenir compte des améliorations technologiques constatées et prévues dans l'avenir.. Pour les modes aérien et ferré les études sur les perspectives d'évolution sont plus rares, et en leur absence, il est recommandé de calquer l'évolution des émissions de polluants sur celle des consommations en intégrant un facteur de progrès technique à justifier. L'évolution de la pollution des transports collectifs reste donc un sujet à approfondir, d'autant que les études actuelles ne prennent pas en compte les effets sanitaires liés à la propagation des microbes et virus dans ces transports collectifs, un sujet jusqu'ici trop peu abordé.

5.2 Les effets amont-aval

Les effets amont-aval comprennent les nuisances liées à la production d'énergie et à sa distribution (« du puits au réservoir ») ; à la production de véhicules à leur maintenance et à leur retrait ; à la construction, maintenance et fin de vie de l'infrastructure .

Le *Handbook* et le rapport de CE Delft INFRAS proposent des valeurs de référence centrées sur les émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre lors de la production d'énergie et de sa distribution (externalités amont), à savoir :

- pollution atmosphérique due aux émissions du « puits au réservoir » de PM10, PM2,5, NO_x, SO₂ et COVNM ;
- changement climatique due aux émissions du « puits au réservoir » de gaz à effet de serre (CO₂, N₂O et CH₄).

Ces valeurs ont été adaptées pour tenir compte, comme pour la pollution, des valeurs de la vie humaine et de la tonne de CO₂ recommandées dans le présent rapport, à savoir :

- une VOLY de 115 000 € 2010 (et non pas 46 000 € 2010) ;
- une tonne de CO₂ de 32 € 2010 (et non pas 146 € 2010).

Les valeurs recommandées pour la route, le fer, l'aérien et le fluvial sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7. **Valeurs tutélaires recommandées pour les effets amont et aval à la circulation**

€2010/100véh.km	Valeurs tutélaires des émissions atmosphériques des procédés amont
Transport routier	
VP	0,90
Bus	2,83
Deux roues	0,42
Poids lourds	2,96
VUL	1,14
Transport ferroviaire	
Train Pass. Elec	25,64
Train Pass. Diesel	136,35
Train Fret Elec.	30,50
Train Fret Diesel	143,51
Transport aérien	
Avion	58,38
Transport fluvial	
Fluvial	96,61

Source : CAS.

5.3 Bruit

La procédure pour tenir compte du bruit dans les évaluations de projets était jusqu'ici fondée sur l'analyse de la valeur locative moyenne des logements. Elle consistait à recenser les logements soumis au bruit, à prévoir le niveau de bruit qu'ils subissaient et à en déduire une perte patrimoniale des logements qui représentait le coût du bruit. Cette méthode est précise mais demande des informations très détaillées qui en général ne sont pas disponibles aux niveaux préliminaires où prend place l'analyse coûts-bénéfice. De ce fait l'étude des effets sonores était souvent absente dans les dossiers d'évaluation économique.

Aussi les nouvelles recommandations proposent deux procédures alternatives : une procédure analogue à la précédente, qui nécessite beaucoup d'informations ; et une procédure plus sommaire, fondée sur des coûts des nuisances sonores par véhicule*km ; ces derniers coûts sont tirés du Handbook et adaptés comme pour les coûts de pollution et des effets amont-aval à la situation française. Mais l'utilisation de ces valeurs au véhicule*km n'est pas simple ; elles correspondent à des situations de protection moyenne, ne comportant pas de dispositions spéciales contre le bruit. Elles constituent donc une mesure brute, indépendamment de l'adaptation des dispositions techniques du projet. Il faut donc les appliquer avec discernement et non de manière automatiques.

6. BILAN : LES CHANGEMENTS DANS LA RÉPARTITION DES AVANTAGES

On a simulé les conséquences des modifications dont l'essence vient d'être présentée, en faisant passer à la fois les anciennes et les nouvelles procédures sur quelques projets types. Globalement, la part de la pollution dans les bilans est sensiblement augmentée, multipliée par des facteurs allant de 1,5 à 3 selon les projets, mais elle reste faible, de l'ordre de quelques pourcents. L'introduction des effets amont-aval ne représente lui aussi que quelques pourcents, ainsi que les effets sur le bruit. Mais tous ces effets de flux, même s'ils ont plus de poids que dans les procédures antérieures, continuent à peser d'un poids limité dans l'ensemble des avantages.

La biodiversité n'est pas intégrée dans les analyses coût-bénéfice, elle n'apparaît que dans les coûts de construction, pour obéir à la réglementation éviter-réduire-compenser ; il arrive parfois qu'une proportion importante des coûts, de l'ordre de plusieurs dizaines de pourcents, y soit consacrée.

En raison de l'augmentation du taux d'actualisation et de l'allongement de la durée d'évaluation, les effets liés aux émissions de CO², qui auparavant pesaient d'un poids négligeable, peuvent représenter maintenant dans certains projets de 10 à 20% des avantages.

L'introduction d'un nouveau système d'actualisation n'a pas d'effet sensible sur la date de réalisation des projets ; en revanche les coefficients bêta conduisent à différencier les projets intermodaux et à changer à la marge leur hiérarchie.

Mais il est certain que les conséquences les plus fortes à attendre des nouvelles procédures peuvent venir de la stratégie à long terme et des scénarios de référence qui la traduiront, comme l'ont montré des simulations qui font apparaître que les indicateurs de rentabilité économique d'un projet sont particulièrement sensibles à la croissance des trafics et à l'évolution des prix relatifs, ainsi qu'aux taux d'actualisation.

NOTES

1. Rapport Boiteux I (1994), Transports : pour un meilleur choix des investissements, Commissariat général du Plan.
2. Rapport Boiteux II (2001), Transports : choix des investissements et coûts des nuisances, Commissariat général du Plan, Paris, La Documentation française.
3. Rapport Lebègue (2005), Le prix du temps et la décision publique, Commissariat général du Plan.
4. Rapport A. Quinet (2008), La valeur tutélaire du carbone, Centre d'analyse stratégique, Paris, La Documentation française.
5. Rapport Chevassus-au-Louis (2009), Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes, Centre d'analyse stratégique, Paris, La Documentation française.
6. Rapport Gollier (2011), Le calcul du risque dans les investissements publics, Centre d'analyse stratégique, Paris, La Documentation française.
7. Evaluation socio-économique des investissements publics, commissariat général à la stratégie et la prospective, Paris, à paraître à la Documentation française (2012) ; rapport de la commission présidée par E. Quinet.
8. Si le projet ne présentait pas de risque systémique, un avantage $a(t)$ à l'année t vaudrait actuellement : $a(t)/(1 + rf)^t$ où rf est le taux sans risque. Si le projet présente un risque systémique dont la corrélation avec l'activité est mesurée par β , les avantages de l'année t sont réduits à $a(t)/(1 + \beta\phi)^t$ et leur valeur actualisée à l'année 0 est : $[a(t)/(1 + \beta\phi)^t]/(1 + rf)^t$, ce qui est à peu près équivalent à $a(t)/(1 + \beta\phi + rf)^t$: tout se passe comme si le taux d'actualisation à utiliser était $r = rf + \phi\beta$ qu'on appelle le taux risqué et qui dépend du projet pour la partie $\phi\beta$.
9. Cette formulation comporte une fonction d'utilité intertemporelle sous-jacente séparable dans laquelle l'utilité de chaque année est de la forme : $\frac{U^{1-\gamma}}{1-\gamma}$.
Mais d'autres fonctions d'utilité seraient envisageables.
10. Indépendance des avantages par rapport à la date de réalisation, non décroissance des avantages dans le temps. Si la montée en puissance des avantages se fait de façon progressive à partir de la mise en service, la règle est légèrement modifiée, sans que son esprit en soit modifié : il faut remplacer l'avantage de première année par une somme pondérée des avantages des années où se produit la montée en puissance. Si par ailleurs, on est en présence de restrictions budgétaires, il faut appliquer les méthodes développées plus bas dans la section correspondante.

11. Voir la note de B Lapeyre et E Quinet en Annexe au rapport « Evaluation socio-économique des investissements publics ».
12. Toujours par rapport à 1990.
13. Centre d'analyse stratégique (2009), *La valeur tutélaire du carbone*. Commission présidée par Alain Quinet.
14. Il est à remarquer que la méthode « Chevassus-au-Louis » est semblable à celle développée dans l'étude internationale TEEB (2008).
15. FAO, 1999. *Cultivating Our Futures* - Multiples fonctions de l'agriculture et des terres : l'analyse : www.fao.org/docrep/x2777f/X2777F03.htm

REFERENCES

- ADEME (2012), Contribution de l'ADEME à l'élaboration de visions énergétiques 2030-2050.
- Blaney, S., A. Hickford et J. Preston (2013), Planning Transport Networks for an Uncertain Future: A UK Case Study, communication à la European Transport Conference 2013.
- Boiteux, M. (1994), *Transports : pour un meilleur choix des investissements*, Commissariat général du Plan.
- Boiteux, M. (2001), *Transports : choix des investissements et coûts des nuisances*, Commissariat général du Plan, Paris, La Documentation française.
- Château, B., V. Bagard, Y. Crozet et H.G. Lopez-Ruiz (2008), « Comment satisfaire les objectifs internationaux de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution transfrontière » *ENERDATA Report*, Prédit, Paris.
- CE Delft-INFRAS (2011), *External Costs of Transport in Europe - Update Study for 2008*, novembre, 163 pp.
- CGDD (Commissariat général au développement durable) (2011), *Évaluation économique des services rendus par les zones humides – Enseignements méthodologiques de monétarisation*, 220 pp.
- Chevassus-au-Louis, B. (2009), *Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes*, Centre d'analyse stratégique, Paris, La Documentation française.
- CAFE (2005a), M. Holland (EMRC), S. Pye et P. Watkiss (AEA Technology), B. Droste-Franke et P. Bickel (IER), Clean Air for Europe Programme (CAFE): Damages per tonne of PM2.5, NH3, SO2, NOx and VOC's of EU-25 Member States (excluding Cyprus) and surrounding seas (Marginal damage cost report) Didcot (UK): AEA Technology Environment.
- CAFE (2005b), F. Hurley, A. Hunt, H. Cowie, M. Holland, B. Miller, S. Pye et P. Watkiss, Clean air for Europe programme (CAFE): Methodology for the Cost-Benefit analysis for CAFE Vol. 2: Health Impact Assessment, Didcot (UK): AEA Technology Environment, 2005.
- European Commission (2001), COM(2001) 370, White Paper, *European transport policy for 2010: time to decide*.

- European Commission Brussels (2011), COM(2011) 144 Final, White Paper, *Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system*.
- European Communities (2008), TEEB, The Economy of Ecosystems and Biodiversity, interim report.
- ExternE (2005), P. Bickel et R. Friedrich (Eds.): *Externalities of Energy, Methodology*, 2005 update Luxembourg: European Commission.
- FAO (1999), Cultivating Our Futures - Multiples fonctions de l'agriculture et des terres : l'analyse : www.fao.org/docrep/x2777f/X2777F03.htm
- Gollier, C. (2011), *Le calcul du risque dans les investissements publics*, Centre d'analyse stratégique, Paris, La Documentation française.
- Gollier, C. (2013), Evaluation of long-dated investments under uncertain growth trend, volatility and catastrophes, Toulouse School of Economics, unpublished manuscript.
- European Commission (2008), *Handbook on Estimation of External Costs in the Transport Sector*; produced within the study on Internalisation Measures and Policies for All External Costs of Transport (IMPACT) 2008, Version 1.1, Delft.
- HEATCO (2006), General issues in costing analysis: Units of account, base years, and currency conversion, Annex B to HEATCO Deliverable 5, *Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment*.
- Lapeyre, B. et E. Quinet (2013), Choix des investissements avec prise en compte du risque systémique, Annex to Quinet 2013.
- Lebègue, D. (2005), *Le prix du temps et la décision publique*, Commissariat général du Plan.
- Quinet, A. (2008), *La valeur tutélaire du carbone*, Centre d'analyse stratégique, Paris, La Documentation française.
- Quinet, A. et E. Quinet (2012), La gouvernance des projets d'infrastructure de transports, *Revue Transport*, février.
- Quinet, E. (2013), *Évaluation socio-économique des investissements publics*, Commissariat général à la Stratégie et la Prospective, Paris, La Documentation française, à paraître en 2014.
- Rozenberg, J., A. Vogt-Schilb et S. Hallegatte (2013), How Capital-Based Instruments Facilitate the Transition Toward a Low-Carbon Economy, The World Bank, Policy Research Working Paper.

International Transport Forum

2 rue André Pascal

75775 Paris Cedex 16

itf.contact@oecd.org

www.internationaltransportforum.org
