

Action Concertée Incitative
Modélisation économique du développement durable

Interprétation économique
du développement durable,
Invariance et préférences environnementales

1 Fiche Résumé

Durée du projet : 3 ans.

Mots-clefs : croissance durable, ressources naturelles, équité intergénérationnelle, contraintes et invariance.

Responsable scientifique : Rotillon Gilles

Professeur de sciences économique,
THEMA, Université Paris 10,
200, avenue de la République, 92001 Nanterre Cedex.
Tél/Fax: 01 40 97 78 19
mél: gilles.rotillon@u-paris10.fr

Organisme demandeur : THEMA, UMR CNRS 7536.

Equipes partenaires :

- UMR Conservation des espèces, restauration et suivi des populations. Muséum National d'Histoire Naturelle, 55, rue Buffon, 75005 Paris.
- CERMICS, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 6-8 av. Blaise Pascal Cité Descartes - Champs sur Marne, 77455 Marne la Vallée Cedex 2.
- EUREQua, Université Paris 1, Maison des Sciences Economiques, 106-112 bd. de l'hôpital, 75013 Paris.

Disciplines :

Economie de l'environnement, mathématique, informatique.

Résumé du projet

Ce projet s'inscrit dans le débat concernant la formalisation du concept de développement durable dans les modèles économiques d'allocation inter temporelle des ressources naturelles, renouvelables ou non.

Si le développement durable nécessite la "*conservation de quelque chose dans le long terme*", les modèles néo-classiques ne permettent pas, selon nous, de déterminer la nature de ce *quelque chose*. De plus, ces modèles souffrent du fait qu'ils considèrent le développement durable à la fois comme une injonction technique (caractérisation de la durabilité) et une injonction morale (choix d'un critère d'optimisation). Dès lors, il est dur de faire la différence entre propositions positives (menaces impliquées par la poursuite d'une trajectoire donnée) et propositions normatives sur l'optimalité de suivre une telle trajectoire.

Ainsi, nous proposons l'utilisation des notions mathématiques d'*Invariance* et d'*Invariance faible* pour caractériser la durabilité dans les modèles économiques. Nous mettrons l'accent sur l'étude du rôle des contraintes des systèmes dynamiques dans la définition des décisions permettant de mettre l'économie sur une trajectoire durable. Cela nous permet de décrire l'ensemble des chemins durables, pour ensuite examiner leur éventuelle optimalité économique, selon un critère ou un autre. On montrera dans ce cadre les complémentarités avec des modèles existants et notamment les liens forts avec l'approche "maximim" et l'équité à la "Rawls et Solow".

En outre, l'évolution probable des préférences environnementales rend la définition de ce qu'il est nécessaire de léguer aux générations futures plus complexe. Ainsi, dans un second temps, nous examinerons comment prendre en compte cette évolution des préférences et ses conséquences sur la définition de l'équité inter générationnelle.

Project summary

This research program deals with the interpretation of the sustainable development concept in economic models with natural resources, renewable or not.

If sustainability requires to "*keep something constant along time*", we think that neo-classical models do not permit to characterize the "thing" we should preserve. Moreover, these models define sustainability as both a moral and a technical injunction. Thus, one can not make the difference between positive statements (sustainability of the path) and normative statements (optimality of the path with respect to an economic criterion).

Thus, we propose to use the mathematical concepts of *Invariance* and *weak Invariance* to characterize the sustainability in economic models. We will focus, in dynamic systems, on the role of the constraints upon the definition of economic decisions that lead the economy to a sustainable path. This way, we can describe the set of all sustainable paths, and then discuss their economic optimality with respect to a criterion or another. This approach is a complement to existing models, especially the "maximin" approach and the equity issue as it is described by Rawls and Solow.

Furthermore, likely changes in environmental preferences have implications on the way we consider inter generational equity. Thus, in a second part of the study, we will examine how to take into account such an evolution of the preferences in the definition of sustainable economic paths.

2 Descriptif scientifique

2.1 Situation actuelle du sujet proposé

Contexte scientifique : analyse des travaux existants sur le même sujet en France ou à l'étranger

Depuis sa définition, dans le rapport Brundtland en 1987, comme un “développement qui permet de satisfaire les besoins présents sans compromettre les capacités des générations futures à satisfaire les leurs”, le développement durable connaît un franc succès, au moins par la fréquence d'utilisation du terme et par le nombre de définition que l'on en recense.¹ Plus qu'un phénomène de mode, le concept reflète des préoccupations environnementales de plus en plus pressantes, et le Sommet Mondial du Développement Durable de Johannesburg (2002) montre qu'il s'agit d'un enjeu majeur du XXI^e siècle malgré les difficultés de coordination internationale pour mettre le concept en action. Cependant, derrière cette omniprésence du terme sur la scène publique et dans la littérature économique, se dissimulent encore des ambiguïtés théoriques. En effet, le contenu du concept et ses implications restent largement à définir.

Il existe, d'une part, une littérature très riche sur l'interprétation du concept. Cette richesse rend d'ailleurs le débat entre partisans d'une “soutenabilité faible”, et défenseur d'une “soutenabilité forte” complexe, et est à l'origine d'une multitude d'*indicateurs de soutenabilité*.² Nous ne nions pas l'intérêt de tels indicateurs mesurant la plus ou moins grande pression que nos systèmes économiques et sociaux font subir à l'environnement et qui peuvent servir comme autant de signaux pour modifier nos comportements. Cependant, la liste des points à prendre en compte est pratiquement infinie et le problème de l'allocation des ressources à l'amélioration de tel ou tel aspect des choses reste entier. Par ailleurs, l'approche dite “forte” de la soutenabilité, basée sur la définition de capitaux environnementaux critiques à préserver, se heurte au même genre de problème : à quelle échelle ces capitaux doivent-ils être définis ; une espèce, un écosystème ? Plus l'échelle est petite et plus la liste est longue. Et qui doit définir ce qu'il est bon de préserver coûte que coûte ?

Mais, d'autre part, il existe peu de modèles économiques théoriques permettant d'esquisser ce que pourrait être un “développement durable”. Et pourtant, l'enjeu est de taille. Ces modèles sont la base d'une réflexion sur les moyens (qualitatifs et quantitatifs) à mettre en oeuvre pour mettre l'économie sur une trajectoire durable. De tels modèles sont en effet nécessaires pour définir les politiques à mener en termes de décisions économiques, environnementales et de gestions des ressources naturelles. Ils doivent permettre également de déterminer des indicateurs (techniques ceux-la) permettant d'évaluer la “soutenabilité” des décisions ou des situations possibles. De plus, ces modèles doivent traiter de la question de l'équité intergénérationnelle. Bref, sans de tels modèles, il semble délicat de rendre le

1. Pezzey, en 1989, recensait plus de 60 définitions.

2. On fait ici référence aux indicateurs issus de conceptions particulières, tel que l'*empreinte écologique*, l'*Human Development Index* ou la *Capability Poverty Measure*. Ces indicateurs permettent d'établir des comparaisons entre différentes situations, et d'évaluer les résultats d'une politique particulière, mais ils ne donnent pas les caractéristiques techniques que doit présenter un sentier de développement durable, ni ne définissent les politiques à mener.

concept opérationnel.

La question du développement durable est souvent posée en économie comme l'*exigence de non décroissance de quelque chose dans le long terme*, le problème étant de définir la "nature" de ce *quelque chose*. La plupart des économistes considèrent qu'il s'agit de la consommation (ou de l'utilité) ou encore, comme Solow, de la capacité à produire du bien-être (on doit alors conserver des capitaux productifs). De cette conception *a priori* de ce qui doit être durable naît la démarche, assez généralisée, suivante :

Les modèles d'optimisation intertemporelle cherchent à déterminer les trajectoires optimales (par rapport au critère retenu) sous des contraintes censées représenter la "soutenabilité" (non décroissance de la consommation par tête ou de l'utilité, capitaux critiques par exemple). Les trajectoires optimales sont alors déterminées et leurs conditions d'existence mènent à des résultats de la forme : "Pour que l'économie suive une trajectoire durable (pour que le problème d'optimisation ait une solution) il faut que la fonction d'utilité (de production, de dépollution...) soit de la forme...". On voit difficilement comment nous pourrions demander à des fonctions caractérisant le système économique d'avoir la forme qui nous arrange afin que le problème posé admette un optimum. Il devient alors difficile d'utiliser ces résultats pour mieux définir le concept. De plus, ces méthodes sont appliquées à des modèles économiques particuliers, dont les hypothèses générales sont largement discutées (Costes et al., 2003). C'est dans ce cadre que se pose le débat sur la substituabilité des différentes formes de capitaux dans les fonctions de production ou d'utilité (Neumayer, 2003).

Dans ce cadre, le débat sur le développement durable se résume au choix du critère à optimiser (Heal, 1998; Islam, 2001) et à la définition des contraintes *a priori* représentant la "soutenabilité".³ Un tel débat sur les critères est indispensable⁴ mais pas suffisant.

Nous pensons que ces modèles souffrent principalement du fait qu'ils considèrent le développement durable à la fois comme une définition technique et une injonction morale. Pourtant, une définition caractérisant une trajectoire particulière de développement comme techniquement réalisable (contraintes de durabilité) n'implique aucune force morale pour la suivre. Il en résulte qu'on ne distingue plus entre des propositions positives concernant les menaces impliquées par la poursuite d'une trajectoire donnée et des propositions normatives sur l'optimalité éventuelle de cette trajectoire. Il faudrait mieux selon nous aborder la question en séparant l'aspect positif du problème (caractérisation de la durabilité⁵) et son aspect normatif (définition de ce qui est optimal, et choix d'un critère).

3. A noter que beaucoup de modèles ne se posent pas la question du choix du critère et utilisent le critère néo-classique de la somme des utilités actualisées. Le débat de l'équité inter générationnelle est alors ramené au seul choix du taux d'actualisation utilisé.

4. Heal (1998) proposent une interprétation du concept en présentant les résultats obtenus par différents critères : somme actualisée des utilités, "règle d'or verte", Maximin, Critère de Chichilnisky. Son approche fournit une très bonne façon d'aborder la discussion sur les conséquences de l'allocation intertemporelle des ressources naturelles en terme d'équité inter générationnelle. On peut aussi se référer au rapport du Commissariat Général au Plan (Beaumais, 2002, chap. 2) pour discuter de l'interprétation des modèles d'économie de l'environnement d'un point de vue développement durable.

5. Nous proposons une conception "technique" de la durabilité. Un sentier de croissance est durable s'il respecte un ensemble de contraintes sur une période à définir. Cela ne préjuge pas de la plus ou moins grande difficulté qu'il y a à définir ce qui doit être respecté.

Par ailleurs, les modèles existants n'abordent pas un point essentiel : le lien entre prise en compte des générations futures et évolution probable des préférences environnementales. Or, la définition du concept de développement durable est marqué par une double incertitude, incertitude sur les capacités des générations futures à satisfaire leurs besoins d'une part, et incertitude sur la nature même de ces besoins d'autre part. Le premier point est très abordé par la littérature existante traitant du progrès technique, mais le second est moins considéré. Or, nous pensons qu'il est primordial de prendre en compte les processus de formation des préférences dans l'élaboration de politiques durables.

En suivant ce raisonnement, nous avons montré dans Costes et al. (2003) que la théorie de la croissance optimale ne permet pas à elle seule de caractériser le concept de développement durable, considéré comme la conservation de quelque chose dans le long terme. En utilisant la notion d'Invariance (Noether, 1918), on montre qu'il n'existe pas de quantités qui restent invariantes le long des sentiers de croissance optimale définis par les modèle néoclassiques. De plus, Martinet et Doyen (2003) montrent qu'il est possible de compléter l'approche classique de la croissance optimale par une étude des contraintes des systèmes dynamiques considérés (Invariance faible), afin de déterminer l'ensemble des politiques viables.

Références :

- Aubin, J.-P. (1991) *Viability Theory*, Birkhäuser.
- Beaumais, O. (2002) *Economie de l'environnement : méthodes et débats*, Commissariat Général du Plan, La documentation française.
- Clarke F.H., YU. S. Ledyayev, R.J. Stern et P.R. Wolensky (1995) 'Qualitative properties of trajectories of control systems: a survey', *Journal of Dynamical Control System*, Vol. 1, p.1-48.
- Hartwick, J. (1977) 'Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources', *American Economic Review*, vol. 67, p.972-974.
- Heal, G. (1998) *Valuing the Future: Economic Theory and Sustainability*, Columbia University Press, New York.
- Islam, S. (2001) *Optimal Growth Economics: An investigation of the contemporary issues and the prospect for sustainable development*, Elsevier, North-Holland.
- Nemayer, E. (2003) *Weak versus Strong Sustainability*, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Noether, E. (1918) 'Invariant variation problems', *Transport Theory and Statistical Physics*, vol. 1, p.186-207.
- Solow, R. (1974) 'Intergenerational Equity and Exhaustible Resources', *Review of Economic Studies*, vol. 41, p.29-45.

Travaux et publications de l'équipe sur le sujet :

- Costes, F., V. Martinet et G. Rotillon (2003) 'Développement Durable et Théorie de la Croissance', soumis aux *Annales d'économie et Statistiques*.
- Martinnet, V. et L. Doyen (2003) 'Sustainability of an Economy with an Exhaustible Resource: a Viable Control Approach', soumis à *Resource and Energy Economics*.
- Martinnet, V. (2004) 'The Hartwick Rule and the characterization of constant consumption path in the presence of an exhaustible resource', présentation à la conférence de Monte

Verità (Suisse) sur *Sustainable Resource Use and Economic Dynamics*, juin 2004. Soumis à *Environmental and Resource Economics*.

Béné C., L. Doyen et D. Gabay (2001), ‘A Viability Analysis for a Bio-economic Model’, *Ecological Economics*, vol. 36, p.385-396.

Doyen, L. et C. Béné (2003), ‘Sustainability of fisheries through marine reserves: a robust modeling analysis’, *Journal of Environmental Management*, vol. 69, p.1-13.

Ayong Le Kama, A. et K. Schubert (2004) ‘Growth, Environment and Uncertain Future Preferences’, *Environmental and Resource Economics*, vol. 28, p.31-53.

Barty K., P. Carpentier, J.-P. Chancelier, G. Cohen, M. de Lara et T. Guilbaud (2003) ‘Dual effect free stochastic controls’, Stochastic Programming E-Print Series (<http://www.speps.info>), à paraître dans *Annals of Operations Research*, 2004.

2.2 Description du projet

Objectifs scientifiques et originalité du projet Notre projet s’inscrit dans la continuité des travaux décrits précédemment. Il s’agit de caractériser la durabilité par les notions d’invariance et de viabilité.

Un premier axe consistera à développer les résultats obtenus dans le cadre “ressources épuisables” par les approches Invariance et Invariance faible, et à les étendre au cas des ressources renouvelables.

Ainsi, dans la suite de Martinet (2004) qui propose un indicateur de durabilité permettant de compléter les résultats de Solow (1974) et Hartwick (1977), nous étudierons quelles sont les politiques permettant de mettre l’économie sur une des trajectoires durables définies par l’étude de la viabilité des systèmes. Des travaux en cours laissent entrevoir la possibilité de définir des politiques optimales selon l’objectif de durabilité choisi (arbitrage entre vitesse de la croissance et protection de l’environnement).

Par ailleurs, nous étendrons ces approches et résultats au cadre des ressources renouvelables. En étudiant un modèle à un secteur (production de bien destiné à la consommation ou à l’investissement) et deux inputs (le capital et une ressource renouvelable), nous espérons montrer qu’une analyse basée sur la satisfaction dynamique d’un ensemble de contraintes de durabilité permet d’obtenir des résultats nouveaux qui aident à l’interprétation du concept.

L’intérêt d’une telle généralisation est multiple. Tout d’abord, un modèle incluant une ressource renouvelable donne des résultats qui peuvent être facilement applicable à la gestion des ressources renouvelables d’une part, et aux économies avec pollution d’autre part. Ensuite, il permettra de déterminer comment les pressions exercées sur l’environnement par la génération actuelle pour son développement peuvent peser plus ou moins fortement sur les capacités futures de développement.

Un autre axe consistera à examiner également un point qui nous semble central dans le débat sur le concept de développement durable : l’évolution des préférences environnementales. Or, des deux facteurs d’incertitude liés au concept, ce point central de la définition du concept est celui qui est le moins étudié actuellement (l’effort de recherche étant plus

fortement porté sur le progrès technique). Ce second axe de recherche regroupe plusieurs points qu'il sera nécessaire de détailler lors de l'avancée des travaux :

- La nature de l'incertitude scientifique sur les dommages environnementaux potentiels liés aux processus de développement actuels, et la manière de la modéliser.
- Le processus de formation des préférences, notamment en ce qui concerne l'arbitrage "consommation - qualité environnementale".
- La manière de prendre en compte cette évolution des préférences dans la définition de l'équité inter générationnelle et dans la détermination de sentiers de croissance durable.

Enfin, en associant les résultats déduits de l'invariance des systèmes dynamiques aux résultats obtenus sur des modèles analogues dans un cadre d'optimisation dynamique, nous définirons un ensemble de politiques durables pour aider la prise de décision économique et environnementale.

Méthodologie D'un point de vue plus méthodologique, notre programme de recherche étant axé autour de l'étude de modèles dynamiques de croissance optimale, nous utiliserons les outils classiques de contrôle optimal dont nous couplerons les résultats avec une méthode complémentaire basée sur la consistance de contraintes et de dynamique contrôlée : invariance (Noether, 1918), invariance faible (Clarke et al, 1995) et contrôle viable (Aubin, 1991).

Cette double approche nous permet d'éviter les pièges exposés précédemment tels le mélange des choix normatifs et des résultats positifs lors de l'élaboration du modèle.

Par ailleurs, on s'appuiera sur l'outil informatique et notamment le logiciel libre de calcul scientifique SCILAB pour réaliser des simulations des résultats plus théoriques et abstraits. Le partenariat avec l'ENPC sera un atout fort dans ce contexte.

Calendrier La réalisation de l'ensemble des travaux proposés est planifiée sur trois ans. Les dix premiers mois serviront à construire un modèle d'utilisation durable des ressources renouvelables, comprenant un secteur productif basé sur l'utilisation d'une ressource naturelle renouvelable devant être exploitée sur un horizon de temps infini en respectant des contraintes de soutenabilité. L'analyse de ce modèle permettra de déterminer l'ensemble des états viables du système et les politiques qui y sont associées. Les résultats obtenus compléteront ceux déjà obtenus dans un cadre ressource épuisable.

Six mois seront alors consacrés à l'interprétation commune des résultats obtenus avec ceux des modèles de croissance optimale afin de déterminer, parmi les choix durables, ceux qui sont économiquement préférables.

Un mois sera alors consacré à la rédaction du rapport intermédiaire présentant l'avancement des travaux. Ce rapport servira en outre à faire connaître le groupe de travail et ses thèmes de recherche auprès de partenaires scientifiques et institutionnels éventuels.

Les seize mois suivant seront consacrés à notre second axe de recherche. Tout d'abord, quatre mois serviront à déterminer les manières d'aborder l'évolution des préférences environnementales d'un point de vue théorique. Les conclusions de cette réflexion serviront à développer un modèle de gestion durable d'une ressource épuisable dont l'existence d'un

stock est source de bien être. On pourra alors examiner les conséquences des choix présents sur le bien être futur en fonction des différents processus d'évolution des préférences envisagés. La construction et l'analyse de ce modèle sont prévues sur douze mois.

Enfin, les trois derniers mois seront consacrés à la rédaction du rapport final.

2.3 Valorisation

Un objectif de ce projet est la consolidation et le développement d'un groupe de travail sur les thèmes décrits plus haut. L'ACI nous donnerait l'opportunité de développer ces recherches dans de bonnes conditions, notamment en nous fournissant les moyens d'asseoir des contacts internationaux. On renforcera par exemple, par une ou plusieurs rencontres de travail, les contacts pris à la conférence de Monte Verità (Suisse, juin 2004) avec Robert Cairns de l'université McGill de Montreal et John Hartwick de la Queen's University (Ontario).⁶

Les travaux réalisés seront valorisés par la soumission et la publication d'articles (en langue anglaise) dans des revues internationales spécialisées, et par des présentations dans des séminaires (dont le séminaire "Economie de l'environnement" de EUREQua et le séminaire du CIREN) et des colloques nationaux et internationaux. L'Association Européenne des Economistes de l'Environnement (EAERE) organise notamment une *summer school* sur le thème "Gestion des Ressources Renouvelables" en juin 2005. En juin 2006 aura lieu à Kyoto le troisième congrès mondial des économistes de l'environnement.

Par ailleurs, nos travaux seront également utiles à l'enseignement et à la formation par la recherche, dans le cadre du DEA "Economie de l'environnement et des ressources naturelles" de l'université Paris 10 (DEA co-habilité par l'Ecole Polytechnique, l'INA PG, l'ENGREF, l'EHESS et l'ENPC) et du DEA "Analyse et Modélisation Economique: applications à l'Environnement et à la Recherche-Développement" de l'université Paris 1. Le soutien de l'ACI permettrait l'avancement d'un poly de cours intitulé "Mathématiques pour la décision durable en environnement" (L. Doyen, M. de Lara) pour le DEA EERN, et également l'accueil de stagiaires.

6. Il s'agit pour l'instant de contacts par courrier concernant l'article Martinet (2004) et le rôle des prix implicites dans l'interprétation du concept.

3 Renseignements administratifs

Responsable scientifique : Rotillon Gilles

Etablissement dont relève le responsable : Université Paris 10 - Nanterre.

Laboratoire : THEMA (THéorie Economique, Modélisation, Applications)

Directeur du laboratoire : Dormont Brigitte

Adresse : 200, avenue de la république, 92001 Nanterre Cedex.

Téléphone : 01 40 97 78 69

Télécopie : 01 40 97 59 73

Adresse électronique : thema@u-paris10.fr

Etablissement gestionnaire financier de l'opération :

Université Paris 10 Nanterre

Statut juridique : Université.

Adresse : 200, avenue de la république, 92001 Nanterre Cedex.

Composition de l'équipe du responsable (THEMA)

Nom	Prénom	Grade	Discipline	Institution de rattachement	Temps consacré au projet de recherche	signature
Rotillon	Gilles	Professeur	Sciences économiques	Paris 10	3 mois	
Martinet	Vincent	Doctorant	Economie de l'environnement	CNRS, THEMA	18 mois	

Composition de l'équipe "Muséum National d'Histoire Naturelle"

Nom	Prénom	Grade	Discipline	Institution de rattachement	Temps consacré au projet de recherche	signature
Doyen	Luc	CR1	Mathématiques	CNRS	12 mois	

Composition de l'équipe "Paris 1"

Nom	Prénom	Grade	Discipline	Institution de rattachement	Temps consacré au projet de recherche	signature
Schubert	Katheline	Professeur	Sciences économiques	Paris 1	3 mois	

Composition de l'équipe "CERMICS"

Nom	Prénom	Grade	Discipline	Institution de rattachement	Temps consacré au projet de recherche	signature
de Lara	Michel	Chercheur	Mathématiques, Informatique	ENPC	6 mois	

4 Estimation financière

4.1 Récapitulatif global de la demande financière

Montant total de l'aide demandée (TTC) : 56 000 €

Pas de demande d'allocation de recherche.

Demande CDD : OUI.

4.2 Demande Financière :

Nom du projet : **Interprétation économique du développement durable, Invariance et préférences environnementales**

Responsable scientifique : **Rotillon Gilles**

Demande Financière (en K€):

	Année 1	Année 2	Année 3	Total
Equipement	5	3	3	11
Fonctionnement	13	19	9	41
CDD	2	2	0	4
Total par année	20	24	12	56

Nature de l'équipement envisagé : matériel informatique⁷, éléments bibliographiques⁸.

Dépenses de personnel: Conventions de stages indemnisés à hauteur de 30% du SMIC.

Nature de l'emploi	Stagiaire (niveau Bac + 5)
Durée de l'emploi	6 mois (durant l'année 1)
Coût total de l'emploi	2 000 €

Nature de l'emploi	Stagiaire (niveau Bac + 5)
Durée de l'emploi	6 mois (durant l'année 2)
Coût total de l'emploi	2 000 €

Demande d'allocation de recherche : NON

Montant total de l'aide demandée (TTC) : 56 000 €

Autres financements sur des thématiques liées au projet proposé : Aucun.

Autres financements sur programme ou contrats en cours, obtenus par l'équipe du demandeur : Aucun.

7. Un ordinateur portable équipé des logiciels nécessaires aux sessions du groupe de travail.

8. Livres et numéros spéciaux de revues économiques sur le sujet.