

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER I
FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES
Ecole Doctorale « ECONOMIE GESTION »
*Equipe d'accueil : **CREDEN – LASER***

PARTAGE DE COUT SERIEL D'UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL :

LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU AU PROCHE-ORIENT

Thèse présentée pour l'obtention du grade de :

DOCTEUR ES SCIENCES ECONOMIQUES DE L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER I

Formation Doctorale :

POLITIQUES ECONOMIQUES – MACRODYNAMIQUE ET ANALYSE DES DECISIONS PUBLIQUES

Groupe des Disciplines du CNU : Sciences Economiques

Section 05

Soutenue publiquement le 10 décembre 2002 par

Fady HAMADÉ

Sous la direction de

Monsieur le Professeur Jacques PERCEBOIS

JURY :

- **Monsieur Michel GARRABÉ, Professeur à l'Université Montpellier I**
- **Monsieur Nicolas GRAVEL, Professeur à l'Université d'Aix-Marseille II (rapporteur)**
- **Monsieur Jacques PERCEBOIS, Professeur à l'Université Montpellier I - Directeur**
- **Monsieur Patrick POINT, Directeur de Recherche au CNRS, Bordeaux IV (rapporteur)**

UNIVERSITE MONTPELLIER I
FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES
Ecole Doctorale « ECONOMIE GESTION »
Equipe d'accueil : CREDEN – LASER

PARTAGE DE COUT SERIEL D'UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL :
LA GESTION DES RESSOURCES EN EAU AU PROCHE-ORIENT

Thèse présentée pour l'obtention du grade de :
DOCTEUR ES SCIENCES ECONOMIQUES DE L'UNIVERSITE DE MONTPELLIER I

Formation Doctorale :
POLITIQUES ECONOMIQUES – MACRODYNAMIQUE ET ANALYSE DES DECISIONS PUBLIQUES

Groupe des Disciplines du CNU : Sciences Economiques
Section 05

Soutenue publiquement le 10 décembre 2002 par
Fady HAMADÉ

Sous la direction de
Monsieur le Professeur Jacques PERCEBOIS

JURY :

- **Monsieur Michel GARRABÉ, Professeur à l'Université Montpellier I**
- **Monsieur Nicolas GRAVEL, Professeur à l'Université d'Aix-Marseille II (rapporteur)**
- **Monsieur Jacques PERCEBOIS, Professeur à l'Université Montpellier I - Directeur**
- **Monsieur Patrick POINT, Directeur de Recherche au CNRS, Bordeaux IV (rapporteur)**

«La Faculté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.»

à Elissar et Nadia,

une proposition simple pour un Orient prétendument compliqué.

REMERCIEMENTS

Je tiens en premier lieu à exprimer à Monsieur le Professeur Jacques PERCEBOIS toute ma reconnaissance d'avoir encadré et suivi ce travail. Je tiens à le remercier tout particulièrement du caractère formateur et constructif de sa direction.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur le Professeur Nicolas GRAVEL ainsi qu'à Monsieur Patrick POINT pour l'attention qu'ils prêtent à mes travaux en ayant accepté d'être les rapporteurs de cette thèse.

Je remercie également Monsieur le Professeur Michel GARRABÉ de me donner l'occasion de bénéficier de ses remarques et de ses commentaires en ayant bien voulu participer à ce jury.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du CREDEN qui m'ont témoigné leur soutien durant ces années de recherche.

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	1
---------------	---

INTRODUCTION GENERALE.....	4
----------------------------	---

CHAPITRE 1 - L'EAU AU PROCHE-ORIENT

INTRODUCTION	24
--------------------	----

SECTION 1 : L'ETAT DES RESSOURCES EN EAU : UN DEFICIT DE L'OFFRE	27
--	----

SECTION 2 : UNE ALLOCATION INEFFICACE DES RESSOURCES.....	44
---	----

SECTION 3 : LA COOPERATION : UN IMPERATIF ECONOMIQUE	49
--	----

CONCLUSION	54
------------------	----

CHAPITRE 2 - LA REGULATION DES EXTERNALITES - FISCALITE PIGOUVIENNE *versus* MARCHE COASIEN

INTRODUCTION	57
--------------------	----

SECTION 1 : EXTERNALITES ET SOLUTIONS THEORIQUES	60
--	----

SECTION 2 : LES MARCHES DE DROITS	84
---	----

CONCLUSION	120
------------------	-----

CHAPITRE 3 - L'OFFRE D'UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL OU LA PARTICIPATION VOLONTAIRE A L'ACTION COLLECTIVE

SECTION 1 : LA GESTION DES RESSOURCES COMMUNES : UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL	125
SECTION 2 : LES BIENS PUBLICS : CONJECTURE DE NASH ET CONJECTURES NON-NASH	129
SECTION 3 : LES INTERPRETATIONS DE LA PARTICIPATION VOLONTAIRE A L'ACTION COLLECTIVE	154
SECTION 4 : LES DETERMINANTS DE LA RECIPROCITE : UN MODELE	170
CONCLUSION	182

CHAPITRE 4 - L'EQUITE DANS UNE PROBLEMATIQUE DE PARTAGE DE COUT

INTRODUCTION	186
SECTION 1 : FORMALISATION D'UN JEU DE PARTAGE DE COUT	187
SECTION 2 : LES BORNES INDIVIDUELLES AU BIEN-ETRE	213
SECTION 3 : PARTAGE DE COUT SERIEL	221
CONCLUSION	233

CHAPITRE 5 - MECANISMES INCITATIFS : EFFICACITE *VERSUS* EQUILIBRE BUDGETAIRE ET PARTICIPATION VOLONTAIRE

INTRODUCTION	237
SECTION 1 : CONCRETISER UNE FONCTION DE CHOIX SOCIAL	240
SECTION 2 : LES MECANISMES DE CLARKE-VICKREY-GROVES	253
SECTION 3 : LE MECANISME SERIEL D'ALLOCATION DE COUT	272
SECTION 4 : COMPARAISON DES SURPLUS COLLECTIFS DES MECANISMES DU PIVOT ET DU SERIEL : UN MODELE	280

CHAPITRE 6 - LE MODELE

INTRODUCTION 294

SECTION 1 : EXPLOITATION DES RESSOURCES EN AUTARCIE 297

**SECTION 2 : LE MODELE : LE PARTAGE DU COUT SERIEL DE LA PRODUCTION D'UN BIEN
PUBLIC INTERNATIONAL 303**

CONCLUSION 335

ANNEXES 337

CONCLUSION GENERALE..... 344

BIBLIOGRAPHIE..... 351

TABLE DES MATIERES 367

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

"It has now become a commonplace to argue that the objective of development is more than just an increase in GDP. There is growing consensus, for instance, that what we seek is improvement in living standards and, more broadly, democratic, sustainable and equitable development. Other important measures of success in development – besides per capita GDP – are health indicators such as, for example, longer life-spans, low infant mortality, access to primary health care, and access to clean water" [Stiglitz 1999].

Selon un rapport des Nations Unis [1978], les lacs et fleuves internationaux représentent 47 % de la surface des continents. Sur le continent africain, asiatique et sud-américain, ce pourcentage s'élève à 60%. Environ 200 bassins de cours d'eau dans le monde s'étalent sur plusieurs pays. 148 d'entre eux sont partagés par deux Etats, 30 par trois Etats, 9 par quatre Etats et 5 par plus de cinq Etats [Barret 1996]. Par conséquent, dans de nombreux cas de figure, l'accès à l'eau implique une coopération entre les Etats pour la gestion et le partage des cours d'eau. Certains de ces cours d'eau font l'objet d'un accord pour leur exploitation, mais de nombreux Etats se les disputent.

Des recherches en sciences politiques [Frey 1993, Anderson 1994, Priscoli, 1994, Vlachos 1990, Wolf 1996] ont permis de mettre en exergue certaines limites à cette coopération. Celle-ci se heurte le plus souvent, non pas à des obstacles techniques [Anderson 1994], mais à des facteurs politiques. Parmi ces facteurs, la souveraineté est le facteur qui apparaît avec le plus d'acuité.

Les Etats négociant le partage et l'exploitation des cours d'eau internationaux s'appuient sur le droit international. Celui-ci fait référence à deux doctrines. La doctrine de la *souveraineté territoriale illimitée*, selon laquelle chaque Etat possède des droits d'usage exclusifs sur toutes les eaux qui traversent son territoire ; et la doctrine de l'*intégrité territoriale illimitée*, autrement interprétée comme une *souveraineté territoriale limitée*, qui soutient que la quantité et la qualité des eaux traversant un territoire ne peuvent être altérées par un Etat voisin. Ces deux principes qui s'opposent illustrent le potentiel conflictuel des cours d'eau internationaux. Loin d'être le fruit d'une réflexion sur l'équité dans le partage des ressources naturelles, ces deux principes sont le résultat de plusieurs années de conflits entre les Etats en amont d'un cours d'eau et les Etats en aval du même cours d'eau.

Le bassin versant du Jourdain est un exemple qui illustre ces difficultés. La pression croissante sur les demandes, la dégradation des ressources disponibles et la dépendance des Etats par rapport aux eaux du Jourdain et de ses affluents ont exacerbé les relations conflictuelles entre les Etats. Au cours du premier chapitre de cette thèse, nous faisons émerger les faits stylisés de la gestion des ressources en eau au Proche-Orient. Nous nous intéressons au cas des deux territoires, israélien et palestinien. Les motivations quant à la gestion des ressources sont politiques. L'exploitation anarchique des eaux, ainsi que les politiques d'allocation menées à l'échelle nationale ont participé à la raréfaction et à la dégradation de la ressource. Nous montrons que des situations d'amélioration parétienne existent. Les bénéfices d'une ré-allocation des eaux aux usages les plus productifs, par une réduction du soutien du prix au secteur agricole, sont supérieurs à la perte des revenus dans ce secteur. C'est à cette souveraineté de la gestion des ressources domestiques que se heurte la coopération pour l'exploitation des cours d'eau internationaux.

Ce travail a pour objet d'examiner la pertinence des outils de la science économique pour l'analyse de la gestion des ressources en eau transfrontalières. Dans quelles mesures, ces outils satisfont-ils ou, se heurtent-ils à la contrainte politique de la souveraineté ?

Les instruments traditionnels de régulation des externalités : Pigou versus Coase

La théorie des externalités constitue le cadre théorique de référence et l'objet du chapitre 2. Le défi de la gestion des ressources naturelles réside dans l'articulation entre les trois domaines suivants, la définition des droits de propriété, les externalités et la faillite du marché. Ce qui oppose les deux écoles c'est, implicitement, la nature des droits de propriété. L'école pigouvienne assigne aux ressources environnementales la notion de biens communs ou de propriété commune à l'ensemble des agents, tandis que l'école coasienne met l'accent sur l'échange de droits de propriété privés préalablement définis. La négociation a pour objet l'échange, et donc le transfert, de ces droits.

La thèse de Demsetz¹ [1964, 1967] stipule que la propriété se développe dans le but d'internaliser les externalités. Selon l'argumentation de l'auteur, les structures s'adaptent pour satisfaire des normes globales d'efficacité. L'appropriation des ressources permet l'exploitation efficace de celles-ci par le fait que ce sont ces droits qui font l'objet d'échange et par conséquent de valorisation par le prix. *"Le mécanisme des prix ne peut conduire à une allocation efficace des ressources qui ne font pas l'objet de propriété"* [Dales 1968 p.792]. Pour constituer un facteur de production les ressources n'ont pas besoin d'avoir un prix, en revanche, l'existence de droit de propriété est une condition nécessaire à l'existence du prix.

Or, la nature même des externalités, eu égard à leur localisation dans l'espace et dans le temps, empêche la définition de droits de propriété sur les ressources. La définition de droits de propriété sur les ressources transfrontalières de manière à promouvoir l'efficacité allocative de celles-ci n'est pas toujours possible [Brown 2000]. En outre, certaines de ces ressources constituent un bien vital (l'eau et l'air) pour l'ensemble des individus présents et futurs. L'épuisement de celles-ci est de nature à hypothéquer l'existence des générations futures, et leur exploitation, qui doit être appréhendée dans un cadre inter-temporel, rend difficile toute tentative de définition de droits sur celles-ci.

¹ "It is my thesis in this part of the paper that the emergence of new property rights take place in response to the desires of the interacting persons for adjustment to new cost responsibilities. This thesis can be restated in a slightly different fashion : property rights develop to internalize externalities when the gains of internalization become larger than the cost of internalization" [Demsetz 1967, p.350].

Dans le chapitre 2, nous nous intéressons aux instruments traditionnels de régulation des ressources naturelles, i.e. la solution pigouvienne et la solution coasienne. Nous identifions le principal enjeu économique de ces instruments, du point de vue normatif [section 1] et du point de vue positif [section 2]. Il s'agit de la *redistribution de la rente* issue de l'exploitation des ressources.

Pigou ou Coase, le problème est celui de l'équité

Nous opposons les deux instruments d'un point de vue théorique. Si les premiers instruments de régulation de l'usage des ressources naturelles ont été les normes et les quotas, face à l'inefficacité de ceux-ci, les économistes ont proposé le recours à la solution pigouvienne. La thèse de Pigou stipule que l'externalité est la conséquence de l'absence de prix pour les ressources naturelles, et les agents économiques devraient être confrontés au coût marginal social des activités polluantes. Une taxe, égale à la différence entre le coût marginal social et le coût marginal privé, doit être rajoutée au prix des biens, faisant valoir le coût de l'utilisation des ressources environnementales.

La première critique de la solution fiscale vient de l'école coasienne, et elle est normative. La solution pigouvienne est source de distorsion, elle ne peut être pareto-optimale qu'à la condition d'être accompagnée d'une contrepartie, i.e. l'indemnisation des victimes des externalités. *"If a tax-subsidy method, rather than trade, is to be introduced, it should involve bilateral taxes(subsidies). Not only must B's behavior be modified so as to insure that he will take the cost internally imposed on A into account, but A's behavior must be modified so as to insure that he will take the costs internally imposed on B into account"* [Buchanan et Stubblebine 1962 p.383]. En procédant à la compensation, d'un point de vue strictement théorique, les deux solutions sont efficaces en termes de bien être collectif [Weitzman 1974]. En revanche, lorsqu'il existe une incertitude soit sur le bénéfice marginal de la réduction des externalités soit sur le coût marginal des dommages, l'équivalence entre les deux instruments est rompue [Weitzman 1974, Adar et Griffin 1976]. Cette équivalence est également rompue lorsque le marché est imparfait.

Quoi qu'il en soit, la question n'est plus alors celle de l'efficacité de l'allocation des ressources, mais celle de l'équité du partage de la rente : *"Hence whether or not we should advocate the imposition of a liability on A for damages caused is a matter of fairness, not of resource allocation."* [Turvey 1963 p.311]. Quelle que soit la solution retenue, fiscalité ou marché, l'efficacité serait assurée par un prix reflétant le coût d'opportunité de

l'utilisation de la ressource, mais les solutions se distingueront par la façon dont elles traiteront le problème de l'équité.

Equité dans la mise en œuvre : ex post, ex ante, directement ou indirectement

Qu'en est-il de leur applicabilité à la gestion des cours d'eau internationaux ? En d'autres termes, comment mettre en œuvre ces modes de régulation ?

Quel que soit l'instrument de régulation retenu, et quel que soit le scénario adopté, celui-ci nécessite une coopération entre les entités politiques. Cette coopération, formalisée par une institution internationale, est une hypothèse commune à l'ensemble des auteurs ayant formulé des propositions de solutions pour le Proche-Orient. Nous supposons donc que les deux Etats qui nous intéressent acceptent le principe d'une institution internationale pour coordonner la régulation. Nous identifions alors quatre scénarii pour la gestion des ressources en eaux internationales.

Un marché de droits avec une allocation initiale des droits de propriété. Cette solution, à condition que le marché soit parfaitement fluide et flexible et en l'absence de coûts de transactions élevés, contribuerait à l'allocation efficace des ressources. L'allocation initiale des droits aurait pour avantage de traiter d'emblée le problème redistributif, i.e. la question relative à l'appropriation des ressources.

Un marché de droits avec une vente aux enchères des droits. Les droits seraient entièrement alloués à l'institution, et les recettes de la vente aux enchères seraient destinées au développement de l'offre selon les coûts marginaux de développement. Cette solution contournerait le problème lié à l'allocation initiale des droits, mais sans résoudre le problème redistributif. En effet, la question de l'équité reste posée si l'institution se retrouve avec des revenus à redistribuer ou si les recettes restent insuffisantes.

Une taxe sur les prélèvements d'eau inciterait les agents à prendre en considération la rareté de la ressource à travers les coûts. Elle pourrait être par la suite redistribuée aux Etats selon un critère d'équité qui reste à trouver. Mais la région se caractérise par un déficit structurel de l'offre, et tout projet de développement aurait des caractéristiques de bien public nécessitant un co-financement. Il serait par conséquent plus pertinent d'affecter les revenus de la taxe au financement des projets.

Une taxe réaffectée au développement de l'offre, selon l'ordre des coûts marginaux en développement, garantirait l'optimalité de l'utilisation de celle-ci. Il n'en reste pas moins que, comme dans le cas du deuxième scénario, le problème redistributif reste posé s'il

n'existe pas de projet d'extension de la ressource rentable au prix de l'eau équivalent à la disposition à payer des agents.

Toutes ces solutions se différencient par la façon d'aborder le problème redistributif. Dans la mise en œuvre des instruments de régulation, le traitement de l'équité se posera, soit *ex-ante* lors de l'allocation initiale des droits de propriété, soit *ex-post* au moment de la redistribution des revenus de la rente, directement par la définition d'un critère de partage des droits ou des recettes de la taxe, ou indirectement par le financement des projets. La non-affectation des recettes de la taxe ou des enchères reporte le problème en transformant la redistribution des droits de propriété en une controverse économique sur le partage *ex-post* de la rente.

La solution pigouvienne, une impasse politique

La solution pigouvienne suppose de déléguer à l'institution internationale le pouvoir de lever un impôt, c'est-à-dire de fixer le taux de prélèvement et de prendre des mesures coercitives contre les fraudeurs. Cette délégation de pouvoir est en contradiction avec la souveraineté exacerbée de Etats quant à la gestion des ressources domestiques. Le prix de la solution pigouvienne, à savoir un abandon de souveraineté, est beaucoup trop élevé, c'est une impasse politique.

La solution de marché et la difficulté de l'allocation initiale des droits

La solution de marché constitue une tendance forte à la régulation des ressources naturelles, et plus particulièrement aux ressources naturelles transfrontalières. *"Individual Transferable Quotas are now growing in use or recommended for use in fisheries around the world and for managing groundwater, water and airquality (including global warming)"* [Brown 2000 p. 891]. L'allocation initiale des droits est la clé de voûte de l'instrument et détermine les effets redistributifs. La rente est alors directement attribuée à ceux qui bénéficient des permis.

C'est la solution qui est retenue par plusieurs auteurs comme proposition pour la gestion et le partage des eaux du Jourdain [Berk et Lipow 1994, Dinar et Wolf 1994, Howitt 1994, Zeitouni *et al.* 1994]. Nous reprenons les résultats du modèle proposé par Zeitouni *et al.* pour mettre en évidence le caractère stratégique du comportement des Etats.

Alors que les auteurs s'appuient sur leurs résultats pour évaluer les bénéfices du recours à la solution de marché, nous reformulons ces mêmes résultats, pour apporter un éclairage différent. Nous montrons, que d'un point de vue stratégique, les scénarii des auteurs sont sans issue.

Les avocats du recours aux marchés pour la régulation des ressources en eau transfrontalières justifient leur proposition en s'appuyant sur les expériences nationales, telles que celles du Chili [Easter et Hearne 1997], de la Californie [Howitt 1994, OCDE 1999] ou de l'Australie [OCDE 1999]. Une revue de cette littérature nous a permis de mettre en exergue deux résultats [chapitre 2-section 2].

1. D'une part, les investissements de grande ampleur nécessaires à la fluidité des transferts sur le marché sont pris en charge par le secteur public, et donc financés par l'impôt. Or, ces investissements correspondent aux coûts de transactions qui entravent la solution coasienne. Il y a donc un biais dans les évaluations des auteurs décrivant ces expériences nationales, et le "*succès*" de celles-ci doit être relativisé.
2. Quant à l'allocation initiale des droits de propriété, les autorités ont eu systématiquement recours à une allocation selon le principe du "*grandfathering*", parce que politiquement plus acceptable. C'est aux autorités politiques nationales, qui ont tranché sur la question de l'allocation initiale des droits, et donc sur le traitement du problème redistributif, que l'on doit l'existence de ces marchés nationaux de droits sur l'eau.

Une fois encore, nous nous heurtons à l'absence d'autorité coercitive supranationale, et par conséquent à la souveraineté des Etats, pour la définition d'un critère d'allocation initiale des droits sur les ressources.

Des comportements stratégiques

Que ce soit pour une solution pigouvienne ou pour une solution coasienne, il faut dans un premier temps définir les acteurs du jeu. En effet, l'héritage de l'analyse de Coase [1960] et de ses successeurs [Buchanan et Stubblebine 1962, Turvey 1963, Demsetz 1964, 1967, Dales 1968] est la mise en lumière de la nature réciproque du problème des externalités : "*We are dealing with a problem of a reciprocal nature*" [Coase p.69]. Ce

constat est largement admis par l'ensemble des auteurs des sciences économiques, y compris par les avocats de la gestion des ressources naturelles sans recours au marché [Brown 2000].

Par conséquent, les difficultés inhérentes à la régulation des ressources environnementales mettent en lumière les comportements stratégiques entre les différents acteurs. La tragédie des communs de Hardin [1968], redéfinie comme une tragédie de l'"*open access*" [Brown 2000, Bromley 1990, Pearce 1990, Ostrom 1990], est le résultat d'un comportement décentralisé non coopératif conduisant à l'inefficacité, et une illustration des intérêts opposés des utilisateurs des ressources en libre accès. La pêche, la pollution, les eaux internationales ainsi que le réchauffement climatique sont des exemples éclairants. Les désaccords sur le partage des efforts pour la régulation de la ressource atmosphère ou les conflits entre les Etats en aval et ceux en amont d'un cours d'eau, sont les résultats des *desiderata* des différentes parties expliquant les stratégies de ces derniers. Mendelson, Nordhaus et Shaw [1994] montrent que, sous l'hypothèse de pouvoir trouver la meilleure récolte en réponse au changement climatique, l'agriculture américaine est bénéficiaire du réchauffement climatique. Pour quelles raisons alors les Etats-unis s'engageraient-ils dans une négociation pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? La Chine, largement dotée de charbon, peut annihiler tous les efforts des autres pays pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Pourquoi s'engagerait-elle dans des négociations si elle n'est pas indemnisée des coûts ?

Dans ces conditions, la question posée est celle la coopération interprétée comme une *logique de l'action collective* [Olson 1965].

La gestion des ressources en eau transfrontalières : un Bien Public International

Partant de ces constats, à savoir la difficulté de parvenir à un critère de partage des ressources, ou de la rente de l'utilisation des ressources, associée à la contrainte de la souveraineté des Etats, nous proposons une alternative au partage physique de l'eau.

A l'échelle nationale, plus pour des motifs politiques et sociaux que pour des raisons économiques, la ressource eau est considérée comme un bien public [Dinar et

Subramanian 1997, Dinar et Saleth 1999]. Dans l'agenda que Stiglitz [1999] dresse aux politiques publiques afin de faire parvenir la population la plus pauvre au niveau de santé de base, l'auteur cite en premier lieu la fourniture d'infrastructures permettant l'accès à l'eau potable. Bromley [2000] formalise un système national d'irrigation comme une problématique d'offre de bien public. A l'échelle internationale, les grands investissements tel que les barrages et ouvrages destinés à contrôler les flux des cours d'eau peuvent techniquement se situer d'un côté de la frontière tandis que les bénéfices retirés sont des deux côtés de la frontière. Par ailleurs, les externalités positives de tout investissement destiné à traiter les eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel bénéficient à l'ensemble des Etats riverains du cours d'eau. Autrement dit, la gestion de la ressource à l'échelle de l'ensemble des Etats riverains du Jourdain, ainsi que l'ensemble des infrastructures soutenant la production et la distribution de l'eau, ont les caractéristiques d'un bien public. La justification de la définition de la gestion de la ressource comme un bien public international est l'objet de la première section de notre troisième chapitre.

Nous définissons la ressource comme étant une ressource commune aux deux Etats, une propriété indivisible, dont la gestion est confiée à une agence internationale de l'eau. La mobilisation de celle-ci, ainsi que son entretien nécessite de fournir des efforts, et nous nous posons la question de la répartition de ces efforts entre les Etats. Autrement dit, la production, la distribution et l'entretien des infrastructures ainsi que la gestion de la ressource à l'échelle des deux territoires (ou à l'échelle du bassin versant) est un Bien Public International, et ce bien public a la caractéristique d'être excluable.

Tandis que dans le chapitre 2 nous nous sommes attachés à la gestion physique de la ressource, avec comme cadre d'analyse la théorie des externalités, au cours des chapitres suivants, le cadre théorique de référence devient celui de l'offre d'un bien public, et la problématique est celle du partage du coût de financement du bien public.

Après avoir rappelé le problème théorique posé par la contribution volontaire à l'offre d'un bien public, à savoir le sous-approvisionnement formalisé par l'équilibre de Nash, nous nous interrogeons sur la démarche et sur les motivations des agents qui contribuent à la production d'un bien collectif. L'interprétation de la conjecture de Nash, i.e. l'hypothèse que fait chaque agent selon laquelle sa contribution (sa stratégie) n'a aucune

influence sur la stratégie des autres membres de la société, n'est pas unanimement admise par tous les auteurs de la science économique [Guttman 1978, Cornes et Sandler 1984, 1985, Sugden 1984, 1985, 1991]. Les anticipations de Nash, à l'origine de l'équilibre de Nash, peuvent être différentes de celle de la l'absence de réponse. Sugden [1985 p.123-124] va jusqu'à écrire au sujet de la contribution volontaire aux biens publics : "*We can not explain this phenomena in terms of the conventionnel theory. The faults of that theory are too deep to be corrected merely by changing the assumptions it make about conjecture.*" D'autres auteurs [Atkinson et Stiglitz 1980, Andreoni 1989, 1990] ne sont pas aussi péremptoirs dans leur affirmation et admettent plutôt que les contributions à l'offre d'un bien public "*... are perhaps not adequatley captured by the kind of individualistic utility functions*" [Atkinson et Stiglitz 1980, p.505].

Les hypothèses alternatives à la conjecture de Nash proposées par différents auteurs sont le *matching* et l'*offsetting* [Cornes et Sandler 1984, 1985]. Dans le premier cas, les agents anticipent qu'un accroissement de leur contribution aux biens publics aura pour effet un accroissement de la contribution des autres agents, et ce phénomène pourrait conduire à l'approvisionnement parétien en biens publics. Dans le second cas, les agents font des anticipations contraires. Un accroissement de leur contribution conduirait à une réduction de la contribution des autres, et ce phénomène pourrait conduire à une situation pire, en termes d'approvisionnement en biens publics, que celle décrite par l'équilibre de Nash. Ce débat sur les anticipations fait l'objet de la deuxième section du chapitre 3.

Au cours de la section 3 du même chapitre, nous nous interrogeons sur les motivations des agents qui contribuent volontairement à la production d'un bien collectif, en d'autres termes les motivations de la coopération volontaire. Nous retenons les trois interprétations qui fondent cette littérature. L'altruisme, la rationalité Kantienne et la réciprocité. La formalisation de l'altruisme est une impasse, dans la mesure où elle ne permet pas une production efficace du bien public. Les agents peuvent être guidés par des considérations éthiques, l'impératif catégorique de Kant [1765]. L'intuition "*utopique*" est celle de Samuelson [1954], la première formalisation est due à Laffont [1975], tandis que Bilodeau et Gravel [à paraître] généralisent le principe de la rationalité kantienne. La rationalité kantienne est une solution qui permet une production efficace du bien public,

mais elle correspond à une exigence trop forte. L'engagement moral demandé aux agents est trop important, inique et difficilement concevable [Sugden 1984]. Ce dernier auteur propose une version affaiblie de la moralité kantienne, celle de la coopération sous condition de réciprocité. [Sugden 1984, 1985]. En outre, la réciprocité est un facteur incitatif à la coopération pour la gestion et l'exploitation des cours d'eau internationaux [Le Marquand 1977].

Nous montrons dans la dernière section de ce chapitre, à partir d'un modèle d'offre de bien public international, que le respect de la réciprocité dans l'engagement volontaire est fonction d'un niveau critique de la richesse d'un Etat, du rendement de la contribution d'un Etat au bien public, et de l'intérêt accordé par les Etats à l'existence du bien public international. Par conséquent, la richesse d'un Etat peut être un obstacle au respect du principe de réciprocité. Dans ces conditions, l'intervention d'un troisième acteur, la communauté internationale, peut contribuer à relancer le processus de la coopération. Nous déterminons analytiquement le montant de l'aide optimale. Elle est égale à la différence entre la contribution d'un Etat, eu égard à sa capacité contributive, et celle correspondant au respect du principe de réciprocité.

La production du Bien Public International : l'équité dans le partage des coûts

Dans le chapitre 4, nous nous intéressons à la problématique de l'équité dans le partage de coût. Nous nous situons dans un cadre coopératif. Les Etats s'associent pour la gestion et l'exploitation des ressources, et ils recherchent un critère de partage des coûts.

Nous présentons deux concepts, celui du Cœur et la valeur de Shapley.

C'est à Faulhaber [1975] que l'on doit la correspondance entre le concept de Cœur et le principe de coût de fourniture isolé, i.e. "*le stand alone cost*". La notion d'équité est donc étroitement liée à celle de subvention croisée, ou de prix exempt de subvention (*subsidy-free*) [Faulhaber et Levinson 1984]. Le test du stand alone permet de déterminer le caractère juste d'une tarification [Sharkey 1982], au sens où le prix payé par un agent, ou par un groupe d'agents, ne doit pas être supérieur au coût qu'il aurait encouru s'il était seul à produire le bien.

Tandis que l'ensemble des solutions du Cœur peut être trop large, la valeur de Shapley [1953] détermine une solution unique. Les caractéristiques d'équité sont relevées

pour la première fois par [Littlechild 1970]. Les propriétés de la tarification selon la valeur de Shapley sont les suivantes : la couverture des coûts occasionnés par la demande de chaque groupe de consommateurs, l'identité des tarifs à service égal, la non-décroissance de la tarification par rapport à la demande, et un tarif moins élevé pour les usagers qui procurent un bénéfice aux autres.

Dans la section 2, l'équité dans le partage de coût est abordée à travers la théorie des bornes au bien-être de Moulin [1990 a, b, 1991, 1992]. L'étude de l'impact des choix de vie, et donc des préférences, des individus sur le bien-être des autres est appréhendée à travers les externalités générées, soit par les préférences individuelles (les externalités de préférence), soit par un groupe d'individus (les externalités de groupe). L'auteur définit deux axiomes, le *Uniform Preference Externalities* - UPE - et le *Uniform Group Externalities* - UGE -, pour guider la démarche dans les problèmes d'allocation de ressources en propriété commune. Ces axiomes placent une borne inférieure et une borne supérieure sur le niveau d'utilité atteint par un agent. Nous présentons la démarche analytique permettant de caractériser ces deux axiomes désormais classés parmi les tests d'équité [Moulin et Thomson 1997, Thomson 2001]

Le premier axiome, UPE, fait référence au principe du traitement égal des égaux. Les externalités de préférence doivent être uniformément réparties entre les agents. S'il existe, dans une situation donnée, des agents qui souffrent des différences d'externalités de préférences, il ne doit pas se trouver d'autres individus qui en tirent un bénéfice. Autrement dit, l'axiome UPE écarte la possibilité, dans une économie, d'agents qui tirent profit de la diversité des préférences individuelles alors que d'autres en souffrent.

Le deuxième axiome, UGE, traite des externalités de la vie en communauté. Celui-ci exprime le fait que la vie en communauté est génératrice d'externalités de groupe positives et/ou négatives. Ces externalités, à l'instar des précédentes, doivent être uniformément réparties entre les individus.

La production en coopération met en jeu le partage d'une propriété commune, la technologie de production. Les rendements d'échelle de toute production en coopération

sont générateurs d'externalités de préférences et d'externalités de groupe. Selon les cas de figure, en fonction des rendements d'échelle de la production, les axiomes UPE et UGE imposent une borne inférieure et une borne supérieure au bien-être individuel d'un agent.

Moulin et Shenker [1992] montrent que la règle de partage de coût sériel, conforme à la logique de la valeur de Shapley, associée à une fonction de coût convexe, satisfait aux axiomes UPE et UGE. Les utilités des agents sont circonscrites aux bornes inférieure et supérieure au bien-être individuel. Moulin [1994] établit le même résultat dans le cadre de la production d'un bien public [chapitre 4-Section 3].

Nous illustrons cela par un exemple et nous comparons la tarification au coût sériel avec la tarification au coût moyen et avec la tarification au coût marginal.

Une Agence Internationale de l'Eau et deux Etats en asymétrie d'information

Dans le chapitre 4, nous avons adopté le cadre analytique de la théorie des jeux coopératifs. Il s'agissait de déterminer les solutions socialement acceptables. Nous supposons alors que les deux entités politiques délèguent la production du Bien Public International à une Agence Internationale de l'Eau. Les Etats adressent leur demande à l'agence et en contrepartie celle-ci leur alloue un coût. Le bien public a la caractéristique d'être excluable. L'information sur les préférences est détenue par chaque Etat. Celle-ci est privée et les Etats peuvent être incités à adopter la stratégie du passager clandestin. Nous nous retrouvons donc en présence d'une situation de concrétisation, dans un cadre d'asymétrie d'information et de conflit d'intérêt entre un décideur, non informé, et deux agents à qui l'information privée sur leurs propres préférences confère un pouvoir stratégique de manipulation de l'allocation finale.

Dans le chapitre 5, nous nous intéressons aux mécanismes incitatifs en stratégies dominantes. *"It is the absence of such a mechanism which has been called the free rider problem in the theory of public goods, and the problem of strategic voting arise because voting sincerely – according to one true preference – is not necessarily an equilibrium strategy."* [Dasgupta, Hammond et Maskin 1979, p.188].

Deux catégories de mécanismes incitatifs retiennent notre attention, le mécanisme du pivot et le mécanisme sériel [Moulin et Shenker 1992, Moulin 1994]. Ces deux familles de mécanismes sont des mécanismes directs révélateurs. Néanmoins, ils se distinguent par la compatibilité entre certaines propriétés. Nous les comparons à l'aune des propriétés d'incitation à la révélation des préférences "*strategyproof*", implicitement en stratégies dominantes, de résistance aux manipulations de coalitions "*coalition strategyproof*", de rationalité individuelle, de rationalité individuelle en autarcie et d'optimalité de Pareto.

Dans la première section, nous définissons la problématique de la concrétisation. Le concept de solution retenu détermine la robustesse du mécanisme. Le concept qui fait l'unanimité dans la littérature est celui de l'équilibre en stratégies dominantes. Toutefois, les résultats de Gibbard [1973] et Satterthwaite [1975] dressent un sérieux obstacle quant à la recherche de fonction de choix social concrétisable en stratégies dominantes. Lorsque l'environnement économique est universel, il n'existe pas de fonction de choix social concrétisable en stratégies dominantes.

Deux axes de recherche sont alors explorés pour tenter de dépasser ce théorème d'impossibilité.

Le premier consiste à affaiblir le concept d'équilibre. Les équilibres alors retenus pour la concrétisation sont l'équilibre Bayésien et l'équilibre de Nash.

La seconde voie de recherche propose de préserver la concrétisation en stratégies dominantes, mais au prix d'un affaiblissement de l'environnement économique. Il apparaît alors que les seuls mécanismes incitatifs le sont en environnement quasi-linéaire. Green et Laffont [1977] caractérisent la gamme des mécanismes incitatifs en stratégies dominantes et montrent que tous les mécanismes incitatifs sont des mécanismes de Groves et que seuls les mécanismes de Groves sont des mécanismes incitatifs. En revanche, ceux-ci ne résistent pas aux manipulations de coalition, ils ne sont pas *coalition strategyproof* [Green et Laffont 1979].

L'étude du mécanisme du pivot, un cas particulier des mécanismes de Groves, est l'objet de la deuxième section dans laquelle nous mettons en exergue les propriétés de ces derniers. Le mécanisme de pivot concrétise le niveau efficace de bien public, mais il génère systématiquement un excédent budgétaire qui ne peut être redistribué, sauf à remettre en cause la propriété incitative de révélation des préférences. Le budget, sauf occasionnellement, n'est pas équilibré. Un excédent budgétaire empêche ces mécanismes de satisfaire à l'optimalité de Pareto. Le mécanisme ne répond pas davantage à la contrainte

de la rationalité individuelle. Et pourtant, c'est cette dernière qui assure et garantit la participation volontaire, et donc la coopération volontaire, à la production du bien public.

Par conséquent, si les mécanismes de Groves apportent une solution au problème de la révélation des préférences, la mise en œuvre de ceux-ci suppose qu'en amont il existe une autorité coercitive qui impose aux agents le paiement de leur part, précisément à ceux dont le mécanisme ne respecte pas la rationalité individuelle. Le mécanisme du pivot se heurte donc à la contrainte politique de la souveraineté des Etats.

Par ailleurs, s'agissant des biens publics purs, Saijo [1991] montre qu'il n'existe pas de mécanisme incitatif en stratégies dominantes qui satisfasse la contrainte de la rationalité individuelle. De même, la propriété d'incitation en stratégies dominantes est incompatible avec l'optimum de Pareto. Or, la révélation des préférences est une contrainte forte dans notre problème dans la mesure où, si l'un des Etats adoptait la posture du passager clandestin, l'autre n'aurait aucune incitation à coopérer. Nous abandonnons par conséquent la recherche de l'optimum de Pareto.

Depuis une dizaine d'années, la littérature sur les mécanismes incitatifs en stratégies dominantes s'est enrichi d'un nouveau mécanisme, le mécanisme sériel. Moulin et Shenker [1992] et Moulin [1994], s'appuient sur le théorème de Dasgupta, Hammond et Maskin [1979], ainsi que celui de Maskin [1985], pour montrer que sur un environnement économique plus large que celui des quasi-linéaires, précisément un domaine de préférence *riche*, la règle sérielle de partage de coût, associée à une règle de décision collective différente de celle du Pivot, concrétise la fonction de choix social sérielle. Dans le cas de bien public, le prix de l'incitation est l'exclusion partielle de l'usage. L'objet de la troisième section est justement la présentation du mécanisme sériel de partage de coût d'un bien public excluable. Outre les propriétés d'équité de la formule présentées au chapitre précédent ce mécanisme est incitatif, satisfait à la rationalité individuelle, y compris à la rationalité individuelle en autarcie et à l'équilibre budgétaire. En revanche, par rapport à son concurrent le pivot, il présente de l'inconvénient de ne pas être efficace *ex-post*. Le niveau sériel de production du bien public reste inférieur au niveau efficace [Moulin 1995].

Au travers de l'examen et de la confrontation de ces deux mécanismes, il apparaît que le prix du caractère incitatif du pivot est l'excédent budgétaire dégagé par celui-ci,

tandis que le prix de l'incitation du mécanisme sériel est l'exclusion d'usage. Le dilemme se présente alors sous la forme :

Efficacité ex-post versus Equilibre Budgétaire et Participation Volontaire.

Dans la troisième section, nous comparons par un modèle les bien-être collectifs des règles d'allocation de coût de ces deux mécanismes. Nous effectuons cette comparaison à l'aune de la perte de bien-être par rapport à la situation parétienne. Nous mettons en exergue le caractère non volontaire du mécanisme du pivot, et nous commentons les résultats en nous appuyant sur une illustration numérique. Le principal résultat de ce modèle est le suivant : le surplus collectif généré par le mécanisme sériel est strictement supérieur à celui généré par le mécanisme du pivot.

Résumons l'ensemble des résultats des cinq précédents chapitres. La mise en œuvre de la coopération pour la gestion et l'exploitation des cours d'eau internationaux se heurte à la souveraineté des Etats. C'est le cas du Jourdain. Les instruments traditionnels de régulation des ressources environnementales, outre le fait qu'ils se heurtent à la contrainte de souveraineté, posent le problème de l'équité dans le partage, soit des ressources physiques, soit de la rente de l'utilisation de ces ressources. Nous posons le problème autrement. La ressource est une propriété commune indivisible, qui nécessite un effort commun pour son entretien et son exploitation. Nous définissons cet effort commun comme un Bien Public International, qui va être administré par une Agence Internationale de l'Eau, et nous nous posons la question du partage de cet effort entre les deux Etats palestinien et israélien. L'Agence va être confrontée au problème de révélation des préférences des Etats.

Le mécanisme sériel incite à la révélation des préférences, satisfait à la contrainte de la rationalité individuelle, à celle de la rationalité individuelle en autarcie, il incite donc à la participation volontaire des Etats. En outre, la règle d'allocation de coût, c'est-à-dire le partage de l'effort pour l'entretien et l'exploitation des ressources, est équitable au sens des axiomes UPE et UGE.

Le mécanisme sériel, une solution à la souveraineté

Dans le chapitre 6, nous formalisons notre problème du partage des ressources entre deux Etats, par un jeu non coopératif de partage de coût d'un Bien Public International (BPI).

Dans la première section, nous relevons les variables qui exercent une influence sur les préférences des Etats pour le Bien Public International. Le BPI est composé de l'ensemble des infrastructures soutenant la production, la distribution et le traitement des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel, ainsi que l'ensemble des activités annexes de gestion de cet ensemble. Par conséquent, chaque quantité d'eau produite, transportée et collectée mobilise une quantité de BPI. Nous supposons donc que les préférences pour le BPI sont liées aux fonctions de demandes nationales en eau. Le BPI comprend également la production d'eau par des sources non conventionnelles, y compris le dessalement de l'eau de mer. Par conséquent, il n'y a plus aucune contrainte physique sur les quantités d'eau disponible, mais une contrainte de coût pour les Etats.

Dans la seconde section, nous définissons la politique hydrique nationale d'un Etat par le couple des prix de l'eau facturés aux consommateurs urbains et aux usagers agricoles. Chaque Etat est totalement libre de sa politique, au sens des prix pratiqués.

Nous proposons la définition suivante de la souveraineté :

Un Etat est considéré comme souverain dans sa politique nationale de gestion de l'eau, lorsqu'il assume l'entière responsabilité de celle-ci en termes de coût. Autrement dit en termes d'externalités, lorsque toute politique nationale conduisant à un accroissement de la demande en eau (baisse des prix nationaux), et donc de la demande de BPI,

- *ne génère aucune externalité négative pour l'autre Etat ou alors,*
- *génère des externalités positives.*

Nous montrons dans ce modèle que la gestion des cours d'eau internationaux comme un Bien Public International, et le partage de coût sériel de celui-ci, résout les deux problèmes, celui lié à la question de la souveraineté et celui lié à la question de l'équité de l'allocation des ressources, ou de la rente.

Nos résultats définitifs s'énoncent comme suit :

Deux Etats I et P participent à la production d'un BPI. Le partage du coût de production se fait selon la formule sérielle. Si l'Etat P, dont la demande de BPI est inférieure à celle de I, modifie ses prix nationaux dans le sens d'un soutien à une catégorie de consommateurs, les résultats sont les suivants :

i – l'Etat P assume la responsabilité de sa politique par la prise en charge de l'externalité que sa politique engendre.

ii – la réduction du prix national de l'eau par P est génératrice d'externalités positives correspondant à une réduction du coût alloué à I.

Si l'Etat I, dont la demande de BPI est supérieure à celle de P, procède à une modification de sa politique nationale par un soutien à une catégorie de consommateurs, les résultats sont les suivants :

iii – l'Etat I assume l'entière responsabilité de sa politique par la prise en charge de la totalité du coût incrémental de la production de BPI que sa politique engendre.

iv – Cette politique menée par I, n'a aucune incidence sur le coût alloué à P, ni sur sa quantité d'eau consommée, ni sur son bien-être.

Plus généralement, lorsqu'un Etat choisi de favoriser une catégorie particulière de ses consommateurs nationaux, il y a une asymétrie dans la prise en charge du coût engendré et des externalités occasionnées. L'Etat ayant la plus faible demande, occasionne des externalités positives et prend en charge la moitié du coût incrémental de sa demande, tandis que l'Etat ayant la demande la plus élevée, n'occasionne aucune externalité et prend en charge la totalité du coût incrémental occasionné par sa politique.

Le mécanisme de partage de coût est incitatif révélateur excluant le phénomène de passager clandestin, P et I sont contraints d'internaliser les coûts de leur politique nationale, ils sont comptables de leurs préférences. L'absence d'externalité négative garantit la souveraineté des Etats quant à leur politique de régulation de l'eau à l'échelle nationale. L'équilibre budgétaire garanti par le mécanisme résout la question relative à la redistribution de la rente ou au financement des projets.

CHAPITRE 1

L'EAU AU PROCHE-ORIENT

INTRODUCTION

La rareté des ressources en eau est un des problèmes majeurs auquel les pays de l'Est de la Méditerranée doivent faire face. La pression croissante sur la demande, tant domestique, qu'industrielle et agricole, l'épuisement des ressources existantes ainsi que la dégradation de la qualité en raison de la surexploitation des gisements, peuvent exacerber le potentiel conflictuel régional entre les différentes parties revendiquant des droits de propriété. La reconnaissance générale de ce fait est révélée par l'apparition des termes tels que "*géopolitique de l'eau*", "*hydropolitique*" [Anderson 1994, Wolf 1996], et par la qualification de la ressource de *stratégique*. De nombreuses études envisagent le développement de l'offre par le recours à des investissements de grande ampleur. Or, le système actuel est caractérisé par une allocation inefficace des ressources existantes qui est le résultat de la sous-tarification de l'eau au secteur agricole et qui participe à la raréfaction de la ressource. Des marges de manœuvre existent donc d'un point de vue économique.

D'un point de vue technique, c'est-à-dire hydrologique, l'unité géographique pertinente pour la gestion des ressources en eau est le système hydrologique, dont les limites visibles correspondent à celles du bassin versant². Ces limites géographiques naturelles sont différentes des frontières politiques. Un pays qui engagerait des dépenses pour développer la ressource ne bénéficierait pas de l'ensemble des retombées liées à ses

investissements. Concrètement, la construction d'un barrage sur un fleuve qui constitue la frontière entre deux Etats est un exemple qui illustre la nécessité de coopération.

En outre, l'eau porte en elle des caractéristiques conduisant à la faillite des mécanismes de marché et à l'intervention d'un régulateur. Sa consommation et sa production sont génératrices d'externalités. A l'échelle de la région, l'intervention d'un régulateur pourrait prendre la forme d'une institution supra-nationale qui aurait en charge la gestion des ressources communes. La "*tragédie des communs*" [Hardin 1968] ne saurait être évitée sans une coopération entre les Etats qui se partagent les ressources communes.

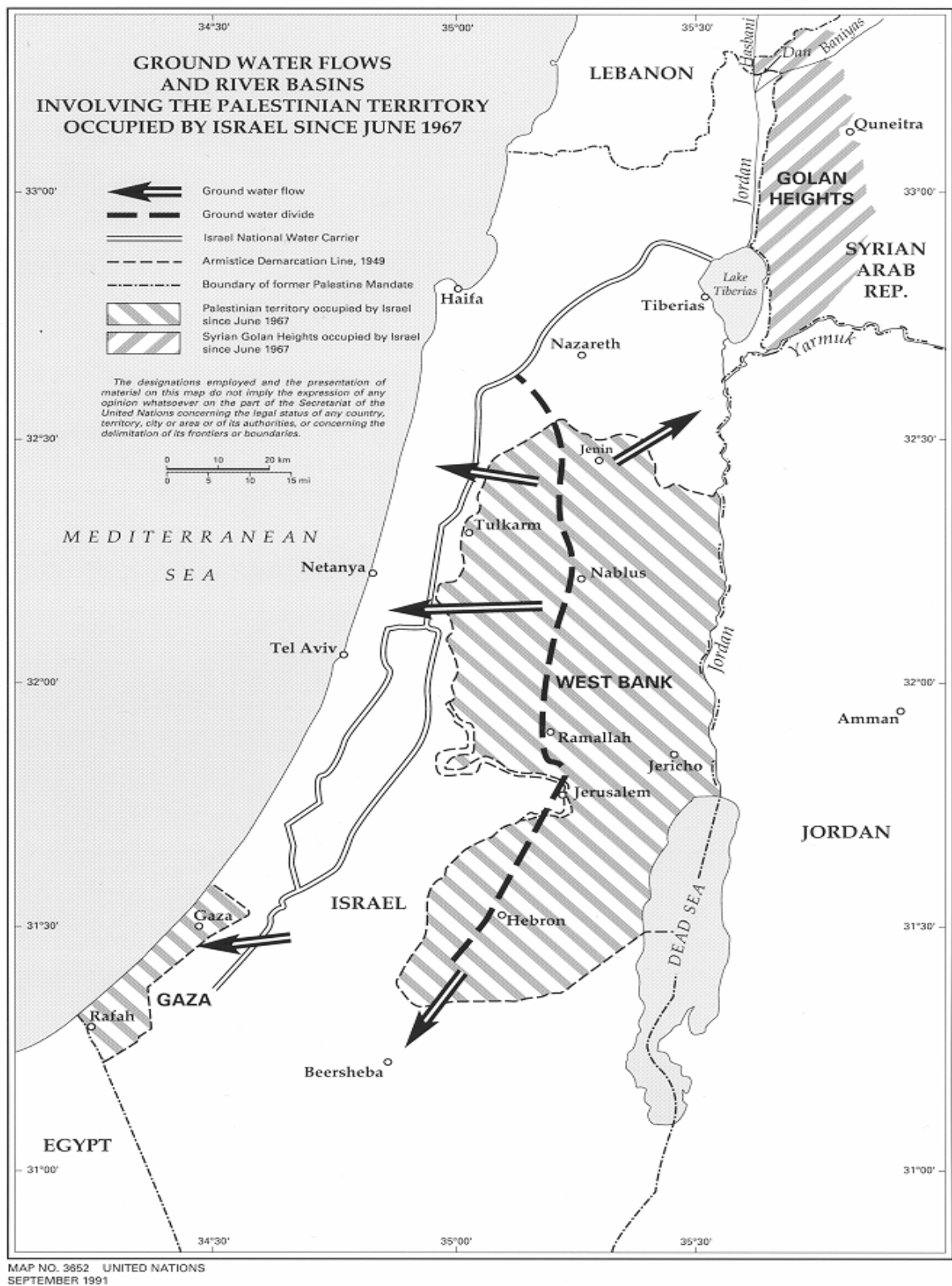
Dans la première section, nous procéderons à une description empirique de la situation. Un bilan des ressources en termes d'offre et de demande permet de mettre en exergue un déficit structurel de l'offre par rapport à la demande (section 1). Celui-ci est la conséquence d'une politique hydrique favorable aux secteurs agricoles. Une réforme de cette politique permettrait une amélioration parétienne de la situation (Section 2).

Les deux territoires de la Cisjordanie et de la bande de Gaza (figure 1) sont les territoires autonomes et occupés palestiniens. Ces deux territoires, avec le plateau du Golan qui appartient à la Syrie, sont occupés par Israël. Depuis juin 1967, ils sont sous administration israélienne, et par conséquent, c'est la loi israélienne qui s'applique à ces territoires. Les ressources en eau de ces territoires sont donc soumis à la loi israélienne sur l'eau de 1959, qui attribue la propriété des eaux superficielles et souterraines à l'Etat. Tout forage palestinien ou israélien doit faire l'objet d'une demande à l'Etat, et ne peut être effectué sans une autorisation de l'administration. Dans ce chapitre, lorsque nous évoquerons l'allocation des ressources en eau en Israël, il faut donc entendre en Israël et dans les territoires palestiniens.

A l'heure où nous rédigeons cette thèse, il n'existe pas encore d'Etat palestinien, les négociations n'ayant pas encore abouti.

² Un bassin versant est le territoire arrosé par un fleuve et ses affluents.

Figure 1.1 : Les territoires palestiniens et israéliens



Source : Site des Nations Unis, http://www.un.org/Depts/dpa/gpal/dpr/DPR_water.htm#map1

SECTION 1 : L'ETAT DES RESSOURCES EN EAU : UN DEFICIT DE L'OFFRE

Les principales données hydrologiques citées dans cette section, sauf indication contraire, sont celles d'une étude effectuée en 1995 par la compagnie du Bas-Rhône pour le compte du Fond Français pour l'Environnement Mondial [FFEM 1995]. Nous avons souhaité, pour des raisons de cohérence, décrire l'état des lieux hydrologiques en ayant recours à la même source d'information. D'autres références existent. Mais, elles sont beaucoup trop éparpillées pour que l'on puisse parvenir à un bilan équilibré. Quoi qu'il en soit, les conclusions des différents auteurs se rejoignent sur un constat de déficit structurel de l'offre d'eau à l'échelle régionale.

1.1 - Bilan de l'offre : trois sources principales

1.1.1 - Le bassin versant du Jourdain : un bassin international

Le système hydrologique est l'échelle d'observation significative et l'unité de gestion pertinente.

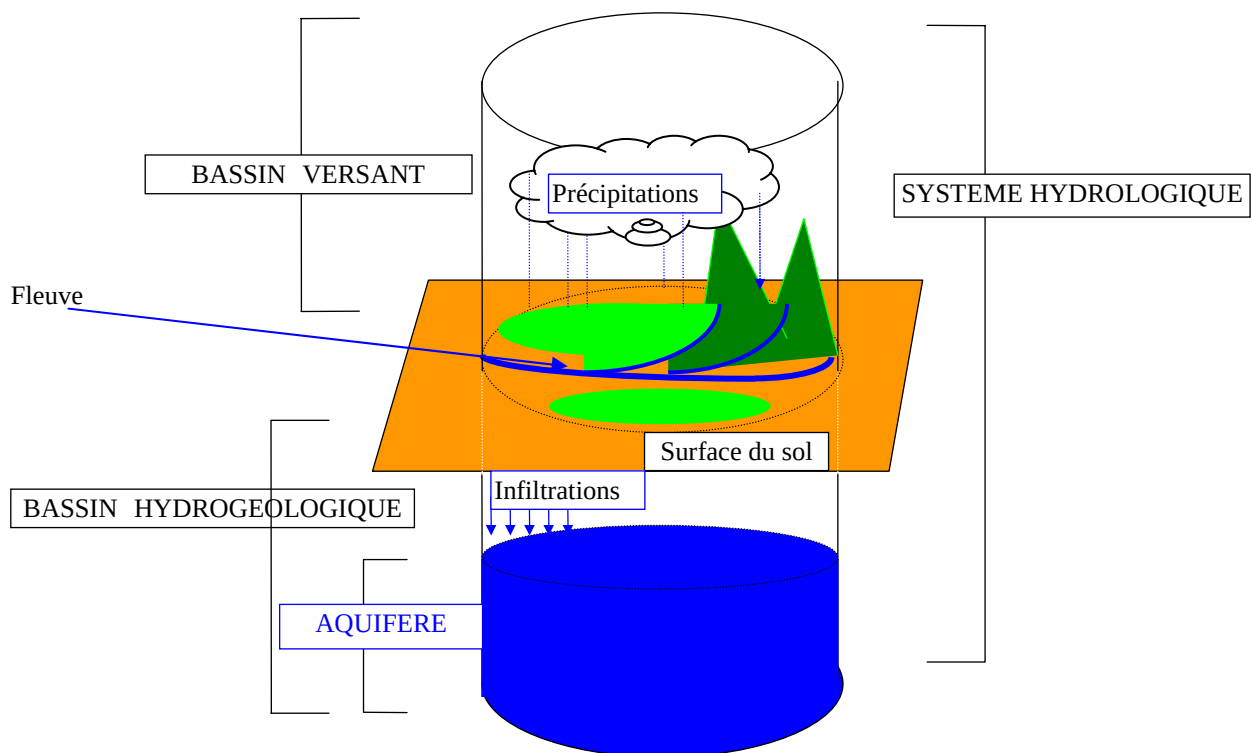
Un système hydrologique est un système identifié par des caractéristiques spatiales. C'est un ensemble de trois domaines d'espaces interdépendants et emboîtés. Cet ensemble est constitué par les trois bassins suivants (figure 2):

- le bassin hydrologique : il est circonscrit par les lignes de crêtes topographiques délimitant le bassin versant d'un cours d'eau et ses affluents. On admet généralement que les limites du bassin hydrologique se superposent, au mieux, avec celles du bassin hydrogéologique ;
- le bassin hydrogéologique : c'est la fraction de l'espace du système hydrologique située sous la surface du sol ;
- l'aquifère : désigne l'unité d'étude des eaux souterraines. Le bassin hydrogéologique est constitué par un ou plusieurs aquifères.

Cet emboîtement des trois systèmes, dont la partie immergée est le bassin versant, fait du système hydrologique le "*domaine (pertinent) d'espace physique, fini à trois dimensions, dont toutes les parties sont en liaison hydrodynamique continue*" [Castany, 1982]. En d'autres termes, c'est un milieu continu, fraction du cycle de l'eau, accessible aux observations et expérimentations.

Le bassin versant est alimenté par les précipitations, et les aquifères le sont par les infiltrations. Toutes les activités et les aménagements réalisés en surface ont une incidence sur la qualité et la quantité des eaux souterraines, et toutes les activités et aménagements réalisés en amont du fleuve, ont des conséquences en aval. La gestion de la ressource doit être envisagée à l'échelle du système hydrologique dans son intégralité, compte tenu des frontières naturelles du bassin, et non des frontières politiques des Etats.

Figure 1.2 : Le système hydrologique : un système emboîté



Source : Castany [1982]

Le bassin versant du Jourdain : un bassin international

Le bassin versant du Jourdain couvre une superficie de 13800 km². Il s'étend, au nord, de la frontière sud du Liban jusqu'à sa limite au sud, qui constitue son exutoire à la Mer Morte (figure 3).

Il se subdivise en trois parties, le haut-Jourdain, le Yarmouk et le bas-Jourdain. Le haut-Jourdain est alimenté par trois fleuves - le Hasbani (Liban), le Dan (Israël) et le Baniyas (Syrie) - dont la jonction donne naissance au Jourdain. Le bassin du Yarmouk s'étend sur les territoires de la Syrie, de la Jordanie et en Israël. Le bas-Jourdain est complètement

coupé de ses principales sources que sont le Yarmouk, le lac de Tibériade et les autres petits cours d'eau de la rive Est.

Figure 1.3 : Le Jourdain, ses limites jusqu'à la mer morte



Source : site du ministère des affaires étrangères israélien, <http://www.israel.org/mfa/home.asp>

1.1.2 - Bilan des eaux superficielles : des ressources communes dégradées

Le Jourdain naît donc de la réunion, sur le territoire israélien, de trois rivières. La première, le Hasbani, prend sa source au Liban, pays qu'elle parcourt sur 21 km. La seconde, le Banias, est d'origine syrienne. La troisième, le Dan, est israélienne. Les débits annuels mesurés en millions de mètres cubes (Mm^3) sont respectivement de 125, 250, et de 125 (figure 4). Ces trois rivières forment le haut-Jourdain. Elles rejoignent le lac de Tibériade également appelé Mer de Galilée ou lac de Kinneret.

Le lac de Tibériade est le seul point de stockage des eaux superficielles. C'est un réservoir naturel. Il est maintenu entre la côte³ -209 m et -213 m. Alors que la profondeur du lac est à -253 m avec un volume total de 4 300 Mm^3 , le seul volume exploitable est celui représenté par les 4 m de différence de fluctuation des niveaux, soit un volume de stockage annuel de 670 Mm^3 . En réalité, si l'on retire de ce volume, les prélèvements effectués dans le haut-Jourdain (100 Mm^3/an) et sur les rives du lac (50 Mm^3/an), les sources salées (50 Mm^3/an) qui sont dérivées vers le bas-Jourdain, et que l'on rajoute l'eau pompée dans le Yarmouk (100 Mm^3/an), le bilan du lac s'établit à 460 Mm^3/an qui représente le volume exploitable.

Le Yarmouk est le plus important affluent du Jourdain. Il rejoint ce dernier à 6 km au sud du lac de Tibériade. Il prend sa source en Syrie, devient jordanien 50 km plus loin, puis se jette dans les eaux du Jourdain. Ce dernier constitue ensuite la frontière entre Israël et la Jordanie sur une longueur de 30 km, puis sur les 50 km suivants, la frontière entre la Cisjordanie et la Jordanie.

Le tableau 1.1 suivant récapitule les débits des principaux affluents au Jourdain.

Tableau 1.1 : Les principaux affluents du Jourdain

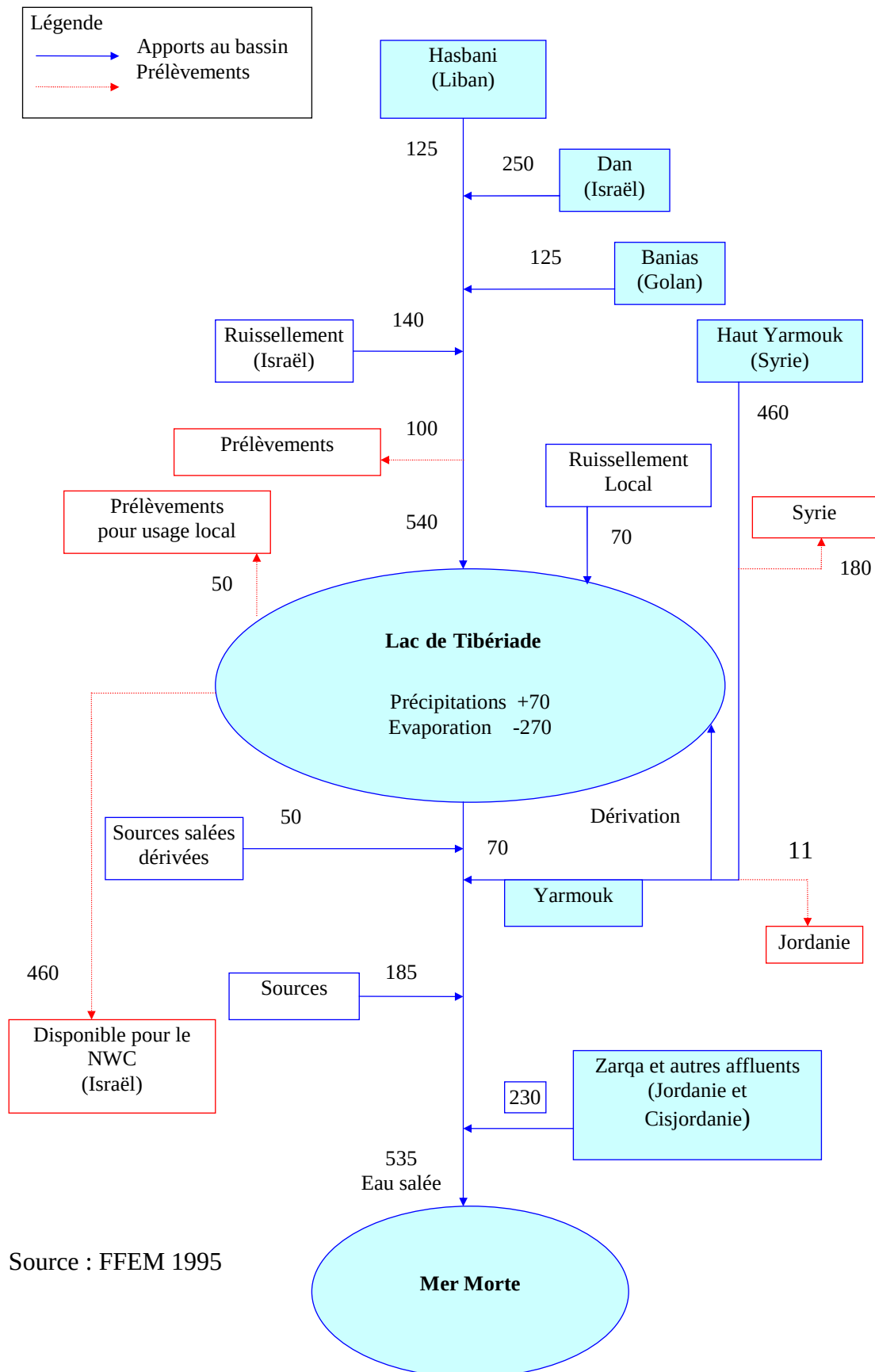
Affluent	Localisation des sources	Débits annuels en Mm^3
Yarmouk	Syrie	460
Dan	Israël	250
Hasbani	Liban	125
Banias	Syrie (Golan)	125

Source : Fond Français pour l'Environnement Mondial 1995

³ Les côtes sont mesurés par référence au niveau d'altitude zéro de la surface de la mer Méditerranée.

Le cours amont est protégé et surveillé. Le lac de Tibériade fait l'objet d'une gestion environnementale rigoureuse. En revanche, en aval du lac, le Jourdain reçoit des eaux saumâtres à plusieurs endroits : diversion des eaux salées de l'amont, et autres sources salées. La vallée est intensément cultivée sur les deux rives, faisant du fleuve le réceptacle des effluents agricoles. Les salinités mesurées n'autorisent aucun usage.

Figure 1.4 : Bassin du Jourdain : bilan des flux annuels des eaux de surface (en millions de mètres cubes)



1.1.3 - Bilan des eaux souterraines: ressources largement surexploitées

Nous nous limiterons au bilan des aquifères qui font l'objet de conflit entre les palestiniens et les israéliens. Les autres nappes souterraines, situées dans chaque pays, appartiennent à ces derniers et ne font pas l'objet de contentieux quant à leur répartition et leur gestion.

Les deux principales réserves souterraines sont le "Mountain Aquifer", ou l'aquifère de Cisjordanie, et le "Coastal Aquifer", ou l'aquifère du littoral méditerranéen. La première est à cheval sur le territoire Israélien et le territoire de la Cisjordanie appartenant à l'autorité palestinienne ; la seconde est située sous la bande de Gaza et une partie du territoire Israélien.

Le "Mountain Aquifer"

Il s'étend sur 150 km de long et 60 km de large. Il est subdivisé en trois sous-aquifères, en fonction du sens d'écoulement des eaux souterraines : les sous-aquifères Ouest, Nord-Est et Est.

L'exploitation intensive du sous-aquifère de l'Ouest se traduit par une diminution du niveau de la nappe et par des infiltrations d'eau salée qui peuvent devenir irréversibles. Alors que le débit exploitable de celui-ci est estimé à 350 Mm³/an, les pompages annuels sont de l'ordre de 375 à 400 Mm³/an. Le déficit est compensé par une recharge artificielle par injection de l'eau transportée depuis le lac de Tibériade.

Le bassin du Nord-Est a une capacité estimée à 130 Mm³/an.

Le sous-aquifère Est a un potentiel de 200 Mm³/an.

Tableau 1.2 : Rendement soutenable du Mountain Aquifer

	Rendement en Mm ³	dont eau saumâtre
Sous-aquifère Ouest	350	40
Sous-aquifère Nord-Est	130	100
Sous-aquifère Est	200	100
Total	680	240

Source : Yaron 1994

Le "Coastal Aquifer"

Il s'étend sur 120 km le long de la côte Méditerranéenne sur une largeur de 3 à 10 km au nord du territoire israélien, jusqu'à la bande de Gaza au sud où il atteint une largeur de 20 km.

Du côté de Gaza, l'exploitation est effectuée de façon minière par 2000 à 2700 puits. La qualité de la ressource est fortement dégradée et impropre à la consommation en raison des infiltrations d'eau de mer, de l'absence de réseau efficace de collecte des eaux usées et d'une utilisation excessive d'engrais et de pesticides. Il est en outre sans surveillance tant du point de vue hydrodynamique que du point de vue qualitatif. La ressource renouvelable est estimée à 55 Mm³/an mais son exploitation actuelle avoisine les 110 Mm³/an [FFEM 1995]. Au total, plus de 60 % de l'eau exploitée dépasse les normes requises pour l'eau potable.

Du côté israélien, l'exploitation moyenne est de 400 Mm³/an alors que le rendement soutenable est estimé à 240 Mm³ à 300 Mm³/an⁴.

Tableau 1.3 : Exploitation de l'aquifère du littoral (Mm³/an)

	Rendement soutenable	Exploitation
Côté Israël	240-300	400
Côté Gaza	55	110
Total	295-355	510

Reconstitué d'après FFEM, 1995

1.1.4 - Les ressources en eau non conventionnelles

Opposées aux ressources en eau naturelles ou conventionnelles, les ressources en eau non conventionnelles sont constituées par la réutilisation des eaux usées recyclées pour l'irrigation, le dessalement de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre et l'importation en provenance de l'extérieur du bassin versant.

Israël a recours au traitement de 70% de ses eaux usées à destination de l'agriculture. Les volumes concernés sont de l'ordre de 200 Mm³/an. Mais l'utilisation de cette ressource pose des problèmes de qualité. L'irrigation des vergers n'est autorisée qu'avec de l'eau à traitement poussé et chlorée et les produits susceptibles d'être consommés crus ne peuvent être irrigués avec ces eaux. En outre, il faut noter que ces eaux

⁴ Les utilisateurs – par exemple les agriculteurs – ne peuvent pas continuer indéfiniment à pomper plus d'eau que la nappe n'en reçoit. A mesure que la nappe baisse, le pompage devient trop coûteux pour être rentable, ou l'eau trop salée pour pouvoir servir à l'irrigation, ou l'aquifère s'épuise. Quand la consommation d'eau souterraine est supérieure à l'alimentation naturelle, on ne peut pas compter la maintenir au même niveau à long terme et le système n'est pas durable. L'épuisement de la nappe n'est pas la seule conséquence irréversible de cette surexploitation. Dans les zones côtières, un pompage excessif peut provoquer des

doivent être acheminées par des conduites spécialisées et leur stockage nécessite des aménagements spécialisés. Le recours pour les israéliens à cette ressource reste par conséquent limité, soit par les volumes de la consommation domestique, soit par leur coût de traitement.

Dans les territoires palestiniens, la situation est différente. Seule la Cisjordanie dispose d'une station d'épuration, les autres villes ne disposent que partiellement de réseaux d'assainissement et pas de stations d'épuration. Les volumes qui pourraient être affectés après traitement à l'irrigation, dans une perspective d'un taux de réutilisation de 50% à 70%, sont de l'ordre de 33 à 46 Mm³/an. Pour les palestiniens, cette perspective est importante dans la mesure où elle représente entre 1/3 et 1/4 de son déficit actuel.

L'utilisation des eaux saumâtres dans l'agriculture est fonction de la tolérance des récoltes et suppose une sur-irrigation pour éviter l'accumulation de sel dans le sol. Le recours au dessalement de ces eaux, dont le volume connu à ce jour reste limité, ne saurait apporter qu'une faible contribution aux problèmes de la ressource [FFEM 1995].

Le dessalement de l'eau de mer est une solution envisageable par l'ensemble des pays de la région puisque ces derniers ont tous un accès, soit à la mer rouge soit à la mer Méditerranée. Ce n'est donc pas la question de la disponibilité qui limite le recours à cette ressource, mais celle de la recherche de l'optimisation des sites de production et du couple usine de dessalement - production d'énergie. L'énergie étant la principale composante du coût du dessalement, le choix de la source d'énergie utilisée est d'autant plus important que les pays de la région ne sont pas producteurs de pétrole. Seul Israël peut envisager le recours au nucléaire, les autres Etats ne maîtrisant pas la technologie.

Les importations d'eau douce de l'extérieur du bassin versant constituent également une solution qui est envisagée dans différentes études [Shuval 1992, Whittington et McClelland, 1992, Wolf, 1993, Fishelson 1994]. Les pays les plus proches susceptibles de fournir un apport par conduites au bassin du Jourdain sont le Liban, l'Egypte et la Turquie.

1.1.5 - Le réseau de distribution : le "National Water Carrier" - NWC -

En 1953, Israël s'engage dans la construction du National Water Carrier (figure 5), conduit souterrain de 130 km qui relie le nord du pays humide et riche en ressources aux secteurs du sud les plus arides mais qui rassemblent la grande majorité des terres cultivées.

intrusions d'eau salée, contaminer l'eau et abîmer le réservoir souterrain. L'épuisement des aquifères peut même entraîner un compactage géologique qui réduit leur capacité naturelle de stockage.

En 1964, les trois principales sources en eau d'Israël, le lac de Tibériade, le "Mountain Aquifer" et le "Coastal Aquifer" sont interconnectées par le NWC. Par la suite, des branchements régionaux incluant eaux de surface et eaux souterraines ont été effectués pour constituer le "National Water System".

Figure 1.5 : Le National Water Carrier – NWC-



Source : Site de l'Université de Princeton, département des relations publiques et internationales
<http://www.wws.princeton.edu/~wws401c/mekerotpipes.jpg>

Avec le lac de Tibériade et les deux autres aquifères, ce réseau représente aujourd'hui le principal outil de gestion de la ressource. Le lac, avec sa capacité de stockage, sert de régulateur entre les saisons hivernales et les saisons estivales, entre les années humides et les années sèches. En fonction de la demande en eau et du niveau des aquifères locaux, les réseaux régionaux soit reçoivent de l'eau du NWC pour les distribuer aux consommateurs, soit alimentent le NWC à partir des aquifères locaux. Il est également utilisé pendant l'hiver pour la recharge artificielle des aquifères.

Le NWS transporte aujourd'hui environ 1 100 Mm³/an.

La région du Proche-Orient est dotée de ressources en eau naturelles et renouvelables limitées et inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Ces ressources sont fonction de la pluviométrie dont la distribution est aléatoire.

Ces ressources sont constituées par les écoulements superficiels, i.e. les cours d'eau, et les nappes souterraines (aquifères). La géographie de ces ressources est très compartimentée par le relief et la structure géologique. Ce découpage structural naturel n'a aucune correspondance avec les frontières politiques. Bassins hydrographiques et aquifères sont donc partagés entre plusieurs pays. Ils sont qualifiés de cours d'eau internationaux⁵.

D'un point de vue strictement hydrologique et technique, l'échelle géographique pertinente pour la gestion des ressources en eau est le bassin versant. En France, c'est cette unité qui a servi au découpage des zones géographiques, qui sont actuellement à la charge des agences de l'eau, également appelées agences de bassin.

La gestion technique des ressources en eau au Proche-Orient doit être appréhendée à l'échelle du bassin versant du Jourdain, i.e. à l'échelle de l'ensemble des Etats qui se partagent les ressources du fleuve et de ses affluents.

Nous limiterons notre cadre d'analyse aux principales ressources naturelles en eau de la région circonscrite à l'Etat d'Israël et aux territoires palestiniens. Ces dernières sont au nombre de trois. Les eaux superficielles, stockées dans le réservoir naturel du lac de Tibériade, et les réserves souterraines des deux aquifères de Cisjordanie et du littoral méditerranéen. Le tableau 4 récapitule les disponibilités en eau respectant les rendements maximums soutenables.

5 La Commission du Droit International, dans son article 2 du droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation, définit "*Un cours d'eau international (comme) un cours d'eau dont les parties se trouvent dans des Etats différents ; un cours d'eau est un système d'eau de surface et souterraine constituant un ensemble unitaire et aboutissant à un point d'arrivée commun ; un Etat du cours d'eau est un Etat dans le territoire duquel se trouve une partie d'un cours d'eau international*". Cours d'eau et lacs internationaux; Bulletin du département de la coopération technique pour le développement; Nations Unis, New York; N° 17; Nov.1991.

Tableau 1.4 : Bilan des trois principales sources d'offre

	Rendement maximum soutenable en millions de mètres cubes/an
Lac Tibériade	460
Mountain Aquifer	680
Costal Aquifer	295 – 355
Total	1435 – 1495

1.2 - Les caractéristiques de la demande en eau

En Israël, la gestion des ressources en eau est confiée à une entreprise nationale, Mekorot, qui assure la production et la distribution de 70 % des ressources. Le reste est exploité directement par les collectivités locales ou les particuliers. L'eau de ruissellement, l'eau souterraine et les eaux usées sont la propriété de l'Etat. Tout captage ou prise d'eau est soumis à licence de nature temporaire et non transférable.

Du côté palestinien, l'autorité nationale doit se doter d'une "*Water Power Authority*" qui n'a pas encore été mise en place.

1.2.1 - Un secteur agricole qui absorbe les trois quarts des ressources

Pour les deux entités politiques, le secteur agricole est le principal consommateur d'eau. Comme l'indique le tableau 1.5, en Cisjordanie 65 % des ressources servent à l'irrigation, 74 % à Gaza et 72 % des ressources israéliennes sont destinées à l'agriculture. Ce tableau récapitule les parts des ressources consommées par les trois secteurs, agricoles, industriels et domestiques.

Tableau 1.5 : Part en pourcentage des consommations domestique, industrielle et agricole dans la consommation totale

	Israël	Cisjordanie	Gaza
Domestique	23%	32%	24%
Industriel	5%	3%	2%
Agricole	72%	65%	74%
Total	100%	100%	100%

Reconstitué d'après FFEM [1995]

Ces chiffres doivent être rapprochés d'une part de la contribution du secteur agricole à l'emploi et aux PIB régionaux (tableau 1.6), et d'autre part de la consommation domestique par habitant (tableau 1.7).

Tableau 1.6 : Contribution de l'agriculture à l'emploi et aux PIB régionaux

	Israël	Jordanie	Cisjordanie	Gaza
PIB	2,4 %	7 %	30 %	29 %
Emplois	3,3 %	6 %	29 %	21 %
Volumes consommés	72 %	75 %	65,5 %	74 %

Source : FFEM 1995

Pour l'Etat d'Israël et la Jordanie, la réduction des ressources allouées au secteur agricole n'aurait pas une forte incidence, ni sur la croissance économique ni sur l'emploi. Berk et Lipow [1994] font remarquer à ce sujet, qu'entre 1991 et 1994 la croissance du PIB en Israël est passé 5% à 7% alors que pendant la même période, une réduction des quotas aux agriculteurs avait réduit de 10% les productions agricoles.

Les situations des territoires de la Cisjordanie et celle de Gaza sont beaucoup plus délicates à commenter.

1.2.2 - Une consommation domestique inégale

Une attention particulière doit être portée aux consommations domestiques. A titre de comparaison, les habitudes de consommation moyenne en France situent les besoins à 150 l/hab./jour. En zone urbaine, les besoins peuvent dépasser les 200 l/hab./jour. Comme le montre le tableau 1.7, la consommation domestique israélienne se maintient à un niveau raisonnable de 214 l/hab./jour. Les situations dans la bande de Gaza et en Cisjordanie sont plus préoccupantes. La consommation domestique atteint des limites incompressibles de 88 l/hab./jour et 89 l/hab./jour.

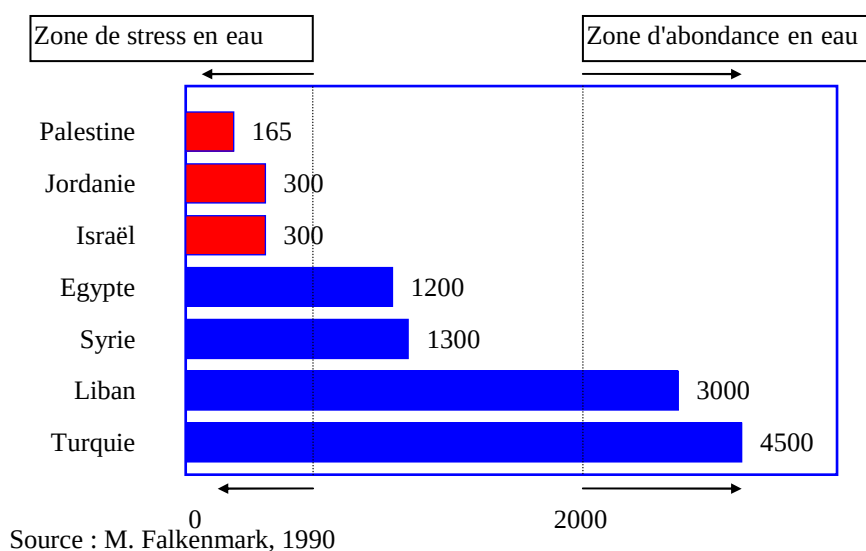
Tableau 1.7 : Consommation domestique par habitant

	Israël	Cisjordanie	Gaza
Population en millions d'habitants	5,120	1,475	0,932
Consommation en m³/hab./an	78	33	32
Consommation en litres/Hab./jour	214	89	88

Reconstitué d'après FFEM, 1995

Malin Falkenmark *et al.* [1990] définit un indice de stress en eau, le "*Water Stress Index*". En partant d'un calcul de 100 litres/jour/hab., l'auteur considère qu'un minimum nécessaire pour les besoins domestiques sanitaires serait 36,5 m³/an/hab.

Plus généralement, cet indicateur mesure les disponibilités totales en eau d'une région ou d'un pays, tous usages confondus (domestique, industriel, agricole et récréatif). Il est égal au rapport des disponibilités en eau douce sur le nombre d'habitants. Un indice inférieur à 500m³/an/hab. situe la région ou le pays dans une tranche critique de pénurie de ressource en eau qui rend le développement économique difficile. Un indice supérieur à 2000 m³/an/hab. situe la population dans une zone d'abondance en eau. Appliqué aux Etats de la région du Proche-Orient, cet indice donne les résultats qui sont résumés dans le graphique suivant.

Figure 1.6 : Indice de stress en eau (en M m³)

En outre, dans la bande de Gaza, les prélèvements dépassent déjà les 50 % des ressources renouvelables. La contrainte de la disponibilité en eau est déjà atteinte.

Shuval [1996] étudie les notions de sécurité alimentaire, sécurité hydrique et déficit hydrique, ainsi que les besoins d'eau minimaux dans le contexte d'Israël et de la région du Proche-Orient. L'auteur propose le chiffre de 125 m³/hab./an, comprenant 100 m³/hab./an pour les besoins domestiques, urbains et industriels minimaux, plus une petite allocation de 25 m³/hab./an pour permettre une petite production de production agricole.

1.2.3 - Projection de la demande

Les perspectives d'évolution de la demande en eau à long terme sont fonction du taux d'accroissement de la population. Les prévisions démographiques faites à l'horizon 2010 suggèrent un accroissement de la population de l'ordre de 54 % par rapport à 1994 [Yaron, 1994], mais dans une perspective de paix signée entre palestiniens et israéliens, le taux de croissance démographique doit être revu pour tenir compte du retour des réfugiés. A cet horizon, les estimations du déficit de l'offre par rapport à la demande sont de l'ordre de 238 Mm³/an [Yaron 1994] pour les plus optimistes et de 700 Mm³/an pour les plus pessimistes (tableau 1.8).

Tableau 1.8 : Prévision de la demande en eau en Israël, en Cisjordanie et à Gaza à l'horizon 2010

	Israël	Cisjordanie	Gaza
Population (1990, millions d'habitants)	4.8	1.0	0.7
Population (2010, millions d'habitants)	7.2	1.8	1.3
Consommation urbaine (1990, Mm³)	600	40	30
Consommation agricole (1990, Mm³)	1100	100	60
Consommation urbaine (2010, Mm³) (a)	800	135	90
Consommation agricole (2010, Mm³) (b)	1500	165	70
Offre d'eau renouvelable Mm³	1600	150	60
Déficit (hyp. basse) (b)	700	150	100
Déficit (hyp. Haute) (c)	500	100	60

(a) à partir des perspectives d'augmentation de population. L'élasticité-revenu est considérée nulle en Israël, égale à 1 ailleurs.

(b) en supposant que la production agricole prolonge sa tendance de 1980-1990, sans introduction de techniques d'économies.

(c) en supposant des changements importants des comportements agricoles et urbains.

Source : G. Fischelson, in Developement options for régional coopération, Ministère israélien des affaires étrangères, 1994.

Face à cette perspective, la réponse immédiate de certains consiste à proposer un accroissement de l'offre en engageant des investissements de capacité. Nombreuses sont les solutions qui procèdent de ce raisonnement [Shuval 1992, Whittington et McClelland 1992, Wolf 1993, Turan 1993]. Mais l'allocation actuelle des ressources est sous-optimale.

Des marges de manœuvre économiques existent à travers une réforme de l'allocation actuelle.

SECTION 2 : UNE ALLOCATION INEFFICACE DES RESSOURCES

"... the problem of water-resource utilization are closely tied to the lack of proper incentives that could help the system toward more efficient use through a reallocation of existing supplies..."

M. Shechter in *Resource and Energy Economics*, 1994, p.266.

A partir de la conclusion de plusieurs auteurs [Yaron 1994, 1997, Berk et Lipow 1994, Zeitouni *et al.* 1994] quant à la gestion inefficace des ressources en eau dans la région du Proche-Orient, nous nous appuyons sur le modèle empirique de Becker [1995] pour évaluer le montant de la subvention accordée par l'Etat israélien au secteur agricole (2.1). Ce montant est évalué par la différence entre le coût de transport de l'eau et le prix facturé aux agriculteurs.

Nous mettons en exergue une allocation inefficace des ressources (2.2). Le montant des subventions accordées aux agriculteurs est supérieur à la réduction des revenus qui résulterait d'une suppression de ces subventions.

2.1 - Un secteur agricole largement subventionné

La loi israélienne sur l'eau attribue la propriété des ressources de surface et souterraines à la nation. La gestion est déléguée à la "*Water Commission*" et la production et distribution à la compagnie nationale Mekorot qui assure environ 70% de l'offre. Le reste est fourni soit par des organisations régionales, soit par des prélèvements directs. Les ressources existantes souffrent d'une allocation sous-optimale qui est le résultat d'une tarification inefficace, particulièrement avantageuse pour le secteur agricole [Becker 1995, Berk et Lipow 1994, Yaron 1997], ceci en dépit d'une progression de 250 % de la productivité marginale de l'eau dans l'agriculture depuis 1984 [Dinar et Saleth 1999].

Alors que le prix d'équilibre s'établit à 35 cents/m³ à court terme et à 45 cents/m³ à long terme⁶ [Fischelson 1994], les règles de l'allocation de l'eau en Israël, ainsi que le système de tarification sont décrits dans le tableau 1.9 suivant :

Tableau 1.9 : Allocation et tarification de l'eau en Israël

Agriculteurs	0-50 % du quota 16 cents/m ³	50-80 % du quota 19 cents/m ³	80-100 % du quota 26 cents/m ³
Industriels	26 cents /m ³		
Domestiques	0-8 m ³ /mois 68 cents/m ³	8-15 m ³ /mois 100 cents/m ³	Au-delà 147 cents/m ³

Les prix aux utilisateurs domestiques tiennent compte des coûts de collecte et de traitement des eaux usées.

D'après Dinar et Subramanian [1997], Water Pricing Experiences, World Bank Technical Paper N°386.

Seules les consommations domestiques sont facturées à un prix supérieur au coût marginal à long terme. En outre, les municipalités chargées de collecter les taxes dûes aux titres des opérations de collecte et de traitement des eaux usées, font en moyenne un bénéfice équivalent à 26 % du total de leurs coûts [Yaron 1997]. La tarification aux secteurs agricoles et industriels ne couvre pas les coûts moyens de transport [Becker 1995]. Becker [1995] calcule le montant des subventions que l'Etat d'Israël accorde au secteur agricole.

Le territoire est découpé en 10 zones géographiques $i, i=1, \dots, 10$, représentant la demande. L'offre est assurée par 8 réservoirs $S, s=1, \dots, 8$. Cinq cultures $j, j=1, \dots, 5$, ont été sélectionnées pour mettre en exergue le rendement de l'eau dans l'agriculture.

Le montant de la subvention est évalué par la différence entre, d'une part, le profit $-\pi_A$ - des agriculteurs généré par l'utilisation de l'eau et, d'autre part, l'estimation du rendement $-R_A$ - du point de vue collectif de l'utilisation de l'eau dans le secteur agricole. Le profit du point de vue des agriculteurs et le rendement du point de vue collectif de l'utilisation de l'eau dans le secteur agricole sont calculés de la façon suivante :

⁶ Il s'agit d'un prix d'équilibre obtenu par construction des courbes d'offre et de demande agrégées sur la base d'observations des quantités offertes et demandées sur le marché. Des corrections aux observations des consommations d'eau agricoles ont été apportées par l'auteur pour tenir compte des distorsions introduites par les subventions. Les dispositions à payer des agriculteurs ont été rapprochées de la productivité marginale de l'eau dans les différents secteurs de l'agriculture.

$$\pi_A = \sum_i \sum_j V_{ij} W_{ij} - \sum_S \sum_j P_{Si} W_{Si}, \quad R_A = \sum_i \sum_j V_{ij} W_{ij} - \sum_S \sum_j C_{Si} W_{Si}$$

V_{ij} , étant le revenu généré par l'utilisation d'une unité d'eau pour irriguer la récolte j dans la région i (\$/m³),

W_{ij} , le volume d'eau alloué à la récolte j dans la région i (m³),

P_{Si} , le prix de l'eau facturé aux agriculteurs,

C_{Si} , le coût moyen de transport d'une unité d'eau du réservoir S à la région i pour le calcul du rendement - R_A - de l'utilisation de l'eau dans le secteur agricole,

W_{Si} , le volume d'eau transféré du réservoir S à la région i (en m³).

Lorsque le prix facturé est inférieur au coût moyen de transport, le montant de la subvention est égal au produit de la différence entre le prix de revient (coût moyen du transport) et le prix facturé, par les volumes d'eau transportés W_{Si} .

Résultats du modèle de Becker [1995]

Le volume des ressources consommé par le secteur agricole est évalué à environ 873 Mm³. Ce volume représente environ 70% de la production offerte par la compagnie nationale israélienne Mekorot [Saleth et Dinar 1999]. Le profit pour le secteur agricole est de 325 M\$ (millions de dollars), ce qui donne un profit moyen unitaire égal à 37,25 cents/m³.

La valeur, d'un point de vue collectif, de cette allocation de l'eau à l'agriculture n'est en revanche que de 269 M\$ si l'on ne tient pas compte du coût du capital, et de 114 M\$ si l'on en tient compte. Les rendements moyens sont donc respectivement égaux à 30,82cents/m³ et 13,06 cents/m³.

En d'autres termes, la subvention se décompose en deux parties. La première, officiellement reconnue, correspond à la différence entre le coût moyen de la distribution de l'eau et le prix facturé aux agriculteurs. Elle est de 6,43 cents/m³ (37,25 cents/m³ – 30,82 cents/m³). La seconde composante est égale à la valeur de la dépréciation du capital, en l'occurrence le NWC. Elle est évaluée à 17,76 cents/m³ [24,19 cents/m³ (37,25 cents/m³ - 13,06 cents/m³) moins la première composante de 6,43 cents/m³]. Le montant global des

subventions est donc de 56,118 M\$ hors coût du capital, et 211,288 M\$⁷ coût du capital inclus. Ces résultats sont résumés dans le tableau 10 suivant.

Tableau 1.10 : Estimation des subventions au secteur agricole

	Secteur agricole	Collectivité	
		Coût du capital exclus	Coût du capital inclus
Valeur de l'eau (M\$)	325,380 M\$	269,262 M\$	114,092 M\$
Valeur moyenne de l'eau	37,2 cents/m ³	30,92 cents/m ³	13,06 cents/m ³
Subvention moyenne/m ³		6,33 cents/m ³	17,76 cents/m ³
Subvention totale (millions de dollars)		56,118 M\$	211,288 M\$

D'après Becker [1995]

2.2 - Une allocation inefficace

Le modèle de Becker nous a permis dans un premier temps d'évaluer le montant des subventions au secteur agricole. A partir de cette même formalisation, l'auteur estime le montant des pertes engendrées par cette allocation inefficace des ressources, par rapport à une allocation optimale qui maximiserait les revenus générés de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture.

Un régulateur soucieux d'une allocation efficace des ressources aurait pour fonction objectif la fonction de revenu de l'utilisation de l'eau dans le secteur agricole décrite ci-dessus. Le programme qui suit permet de mettre en exergue, d'une part, l'allocation sous-optimale des ressources et, d'autre part, le lieu d'une amélioration pareto-optimale pour la collectivité. Les consommations domestiques et industrielles sont considérées comme des contraintes pour chaque région.

La fonction-objectif du programme est la suivante :

$$Max Z = \sum_i \sum_j v_{ij} w_{ij} - \sum_S \sum_j c_{Si} w_{Si} , \quad (1.1)$$

sous les contraintes suivantes :

$$\sum_i w_{Si} \leq W_S, \quad S=1,...,8 \quad (1.2)$$

$$\sum_j w_{ij} - \sum_S w_{Si} \leq 0, \quad i=1,...,10 \quad (1.3)$$

⁷ Berk et Lipow [1994] évaluent à 250 millions de dollars le montant de la subvention au secteur agricole.

$$d_{ij} = \frac{w_{ij}}{a_{ij}}, \quad i=1,\dots,10 \text{ et } j=1,\dots,5 \quad (1.4)$$

$$w_{in} = W_{in}, \quad i=1,\dots,10 \quad (1.5)$$

$$\sum_j d_{ij} \leq D_i, \quad i=1,\dots,10 \quad (1.6)$$

$$\sum_i d_{ij} \leq D_j, \quad j=1,\dots,5 \quad (1.7)$$

$$\sum_s w_{Si} = A_i, \quad i=1,\dots,10 \quad (1.8) \quad \text{avec}$$

v_{ij} , le revenu généré de l'utilisation d'une unité d'eau pour irriguer la récolte j dans la région i (\$/m³),

w_{ij} , le volume d'eau alloué à la récolte j dans la région i (m³),

c_{Si} , le coût de transport moyen d'une unité d'eau du réservoir S à la région i , (\$/m³),

w_{Si} , le volume d'eau transféré du réservoir S à la région i (en m³),

W_s , le volume d'eau exploitable du réservoir S (en m³),

d_{ij} , la superficie des terres destinées à la récolte j dans la région i (unité 0,1 hectare),

a_{ij} , le coefficient de consommation d'eau par la récolte j dans la région i (m³),

w_{in} , le volume d'eau consommé par les secteurs non agricoles, domestique et industriel, (m³),

W_{in} , la contrainte de consommation d'eau par les secteurs non agricoles (m³),

D_i , la surface des terres exploitables par l'agriculture dans la région i (0,1 hectare),

D_j , la surface des terres allouées à la récolte j (0,1 hectare),

A_i , le volume d'eau alloué à la région i (m³).

La résolution du programme donne les prix suivants :

λ_s , le prix de l'eau du réservoir S ,

λ_i , le prix de la terre cultivée dans la région i ,

λ_j , le prix de récolte j .

A l'équilibre la somme des prix doit être égale à la valeur du revenu incrémental généré par la récolte j dans la région i , $\lambda_{Si} + \lambda_i + \lambda_j = v_{ij}$.

Le modèle donne les résultats suivants que nous avons rassemblés dans le tableau (1.11). L'allocation optimale des ressources, au sens de la maximisation des revenus générés par l'utilisation de l'eau dans le secteur agricole, réduit de 35,7% les ressources destinées au secteur agricole (dans l'hypothèse où l'on tient compte du coût du capital). Cette allocation participe également à une diminution de 53 % des surfaces irriguées. En contrepartie, la perte totale de revenu pour les agriculteurs est de 148 M\$. Elle correspond à la différence entre les bénéfices pour les agriculteurs de l'utilisation actuelle des ressources (325 M\$) et de leurs bénéfices dans l'hypothèse d'une allocation optimale (177 M\$ coût du capital inclus).

Tableau 1.11 : Allocation des ressources en eau au secteur agricole et revenu des agriculteurs

	Volume d'eau (Mm ³)	Superficie irriguée (milliers d'hectares)	Profit des agriculteurs (M \$)
Allocation actuelle	873	172	325
Allocation optimale (Coût du capital exclus)	758 (-13%)	138 (-19,7%)	297 (-8,6%)
Allocation optimale (Coût du capital inclus)	561 (-35,7%)	80,6 (-53,1%)	177 (-45,5%)

D'après Becker [1995]

Cette diminution des revenus reste toutefois inférieure à la subvention accordée au secteur et calculée précédemment, 211 M\$. Si cela était politiquement envisageable, une indemnisation des agriculteurs à la hauteur de leur perte de revenu (148 M\$) est économiquement plus rationnelle que les subventions accordées à l'ensemble du secteur (211 M\$). Par conséquent, il y a lieu d'une amélioration parétienne de l'allocation des ressources, égale à la différence entre les subventions accordées aux agriculteurs et la perte de revenus de ces derniers, c'est-à-dire de 63 millions de dollars. La crise de l'eau au Proche-Orient est donc d'origine agricole [Berck et Lipow 1994, Becker 1995], et les motivations de l'allocation des ressources sont politiques.

SECTION 3 : LA COOPERATION : UN IMPERATIF ECONOMIQUE

L'eau a longtemps été considérée comme une ressource abondante, voire illimitée, i.e. un bien commun qui n'avait pas de prix. C'est en 1992, lors de la conférence de Dublin, que la communauté internationale a défini, pour la première fois, l'eau comme un "*bien économique*", lui reconnaissant à travers ce principe une valeur marchande.

Au sein de l'unité hydrologique que constitue le système hydrologique, *l'eau douce renouvelable* est une donnée, une variable bornée, limitée. Mais dans un sens plus large, l'eau douce est une ressource illimitée dans la mesure où elle peut être importée, traitée après usage ou alors dessalée à un certain prix. Au-delà des besoins humains pour la consommation quotidienne, la rareté de l'eau est une question économique qui se pose en les termes suivants : chaque usage particulier justifie-t-il les coûts de sa satisfaction ? La rareté signifie que des utilisations concurrentielles existent et que la totalité de la demande ne peut être satisfaite, en d'autres termes, que la demande est supérieure à l'offre. Dans ce cas, cela signifie également qu'il va falloir déterminer un ordre de priorité entre ces différentes utilisations de la ressource. Par conséquent, rareté et usages concurrentiels font que l'eau devient un problème d'allocation pour les économistes : comment allouer des ressources rares entre usages concurrents ?

La section suivante vise à montrer que la ressource en eau, superficielle ou souterraine, porte en elle les caractéristiques conduisant à la faillite des marchés. D'une part, son utilisation engendre des externalités (3-1) ; d'autre part, les investissements, tant pour la mobilisation de la ressource que pour son stockage, sont des investissements de grande ampleur qui peuvent avoir des caractéristiques de biens publics (3-2). Ces caractéristiques justifient l'intervention d'un régulateur, qui à l'échelle internationale peut prendre la forme d'une institution ou d'une organisation internationale. La coopération est donc un impératif économique.

Externalités

Les manifestations d'externalités résultant de la consommation des ressources en eau sont de deux sortes : les externalités en rapport avec la qualité de la ressource, i.e. la pollution, et les externalités en rapport avec la quantité d'eau disponible. Dans ce dernier cas, il s'agit de la réduction des disponibilités en ressource que subissent les agents qui partagent un même cours d'eau ou un aquifère lorsque les premiers se sont servis. L'urgence qui caractérise la situation régionale est de cet ordre, même si la dégradation de la qualité des eaux est un facteur aussi important.

Le cas des eaux de surface

En supposant que l'on se restreigne au contexte de l'utilisation de l'eau à des fins agricoles, les externalités qui apparaissent lors de la consommation des eaux de surface, correspondent à la réduction des disponibilités en eau que subissent les riverains en aval, une fois que les riverains en amont ont prélevés une partie des ressources. Pour illustrer notre propos, supposons quatre pays prélevant de l'eau sur un même cours pour produire le même bien y_i vendu au même prix p .

Sous l'hypothèse simplificatrice que le rendement des récoltes est une fonction directe de la quantité d'eau disponible, la fonction objectif de chacun de ces pays peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\pi_1 = \max_{y_1} py_1 - d(y_1) \quad (1.8)$$

$$\pi_2 = \max_{y_2} py_2 - e(y_1, y_2) \quad (1.9)$$

$$\pi_3 = \max_{y_3} py_3 - f(y_1, y_2, y_3) \quad (1.10)$$

$$\pi_4 = \max_{y_4} py_4 - g(y_1, y_2, y_3, y_4) \quad (1.11)$$

avec y_1, y_2, y_3 et y_4 les quantités produites par les différents pays, et d, e, f et g le coût de production de chacun des pays. La fonction-objectif de chacun des pays 2, 3 et 4 est liée à la quantité d'eau prélevée en amont par le pays 1. La position à l'intérieur du bassin privilégie les pays situés en amont qui peuvent puiser une ressource encore intacte en termes qualitatifs et quantitatifs. Ceux en aval sont conditionnés par les prélèvements et les rejets des premiers. Seul l'agent 1, le plus en amont du cours d'eau, a une fonction-objectif indépendante de celle des autres. Et seul l'agent 4, le plus en aval du cours d'eau, ne produit pas d'externalité. L'équilibre de cette exploitation anarchique des ressources se situe au point où les pays égalisent leur coût marginal privé au prix p du bien :

$$\frac{\partial d(y_1)}{\partial y_1} = \frac{\partial e(y_1, y_2)}{\partial y_2} = \frac{\partial f(y_1, y_2, y_3)}{\partial y_3} = \frac{\partial g(y_1, y_2, y_3, y_4)}{\partial y_4} = p. \quad (1.12)$$

Par conséquent, les pays 2, 3 et 4 souffriront des prélèvements effectués par le pays 1. Le pays 2 subit uniquement les externalités de 1, le pays 3 ceux de 1 et 2, et le pays 4 ceux de 1, 2 et 3. Les externalités observées sont donc asymétriques [Bromley 2000], seul le pays 1 est prémuni d'une appropriation prédatrice des ressources des N-1 autres riverains.

L'alternative à cette exploitation anarchique des ressources, en supposant qu'une institution commune ait en charge la gestion de la ressource, repose sur la coopération. L'institution chargée de l'allocation optimale des ressources aurait pour fonction-objectif la fonction (1.13) suivante:

$$\pi_{1+2+3+4} = \max_{y_1, y_2, y_3, y_4} p(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) - d(y_1) - e(y_2, y_1) - f(y_3, y_2, y_1) - g(y_4, y_3, y_2, y_1) \quad (1.13)$$

Les conditions de premier ordre sont les suivantes :

$$\frac{\partial d(y_1)}{\partial y_1} + \frac{\partial e(y_2, y_1)}{\partial y_1} + \frac{\partial f(y_3, y_2, y_1)}{\partial y_1} + \frac{\partial g(y_4, y_3, y_2, y_1)}{\partial y_1} = p, \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial e(y_2, y_1)}{\partial y_2} + \frac{\partial f(y_3, y_2, y_1)}{\partial y_2} + \frac{\partial g(y_4, y_3, y_2, y_1)}{\partial y_2} = p, \quad (1.15)$$

$$\frac{\partial f(y_3, y_2, y_1)}{\partial y_3} + \frac{\partial g(y_4, y_3, y_2, y_1)}{\partial y_3} = p, \text{ et pour la quatrième unité} \quad (1.16)$$

$$\frac{\partial g(y_4, y_3, y_2, y_1)}{\partial y_4} = p. \quad (1.17)$$

Cela signifie que les pays 1, 2 et 3 doivent internaliser les coûts des dommages imposés aux autres Etats.

Les exemples de situations similaires caractérisées par des tensions entre pays riverains concurrents d'un même cours d'eau ne manquent pas. Le projet du GAP (en turc Güneydogu Anadolu Projesi) ou projet de l'Anatolie du Sud-Est en est un exemple criant [Tekeli, 1990]. La Turquie a entrepris de construire 21 barrages (17 sur l'Euphrate et 4 sur le Tigre) pour irriguer une surface de 1,7 millions d'hectares, et 19 stations hydroélectriques. Ce projet conduit à réduire de moitié (1000 m³/s à 500 m³/s.) les flux d'eau arrivant en Syrie, alors que ces derniers réclament un minimum garanti de 700 m³/s. Ainsi, le débit annuel de l'Euphrate tombera de 30 milliards de m³ à environ 16 milliards de m³ en Syrie et 5 milliards de m³ en Irak [Majzoub, 1997].

Hormis le caractère stratégique des hauteurs du Golan, l'occupation par l'Etat d'Israël de cette zone qualifiée de "*château d'eau*", transforme sa position de riverain aval en riverain amont, évitant ainsi de subir une réduction des disponibilités.

Le cas des eaux souterraines

Dans le cas des eaux souterraines, plusieurs Etats doivent se partager une quantité de ressource limitée. Nous sommes dans ce cadre confrontés à un problème d'accès libre à une ressource commune. On retrouve cette problématique dans la littérature sous la dénomination de la "*Tragédie des communs*" [Hardin, 1968]⁸. La rationalité "*individuelle*" de chaque Etat ne l'incite pas à prendre en considération les effets de ses actions sur la ressource et sur les autres utilisateurs, ce qui conduit à la surexploitation de la ressource. Dans ce cas, les externalités ne sont plus asymétriques mais réciproques [Bromley, 2000]. Le générateur de l'externalité est également victime de celle-ci [Cornes et Sandler 1993]. Toute quantité de ressource prélevée aujourd'hui, réduit d'autant les quantités offertes aux N-1 autres agents et conduit à un accroissement du coût de prélèvement des autres agents présents et futures [Zilberman 1999]. Par conséquent, comme dans le cas précédent, les fonctions objectifs des agents sont interdépendantes.

⁸ Perace [1999] récuse l'appellation de "Tragédie des communs" et lui substitue la dénomination de "Tragédie du libre accès". En effet, l'auteur fait la distinction entre les ressources en accès libre et les ressources en propriété commune. Si les communs ont bien un risque intrinsèque de surexploitation, la commune propriété des ressources incite à la gestion durable de ces dernières. La tragédie de "Hardin" est bien une tragédie de l'accès libre conduisant à la surexploitation des ressources. Ce risque de surexploitation est inférieur lorsque la propriété est commune.

CONCLUSION

La gestion des aquifères et des cours d'eau internationaux, au Proche-Orient comme ailleurs dans le monde, requiert une volonté politique de coopération. La coopération est un exercice politique en étroite relation avec la négociation internationale, et la négociation est d'autant plus difficile que les ressources sont limitées et que les Etats sont en conflit.

L'outil économique ne résout pas le problème de la coopération. En revanche, il propose des bases de négociations au sens où il offre et met en exergue des opportunités de coopération.

Les deux caractéristiques de la gestion des ressources, externalités et biens publics, constituent les fondements micro-économiques de l'intervention publique. Lorsque la problématique est transposée à une échelle internationale, le régulateur pourrait prendre la forme d'une institution internationale qui aurait en charge la gestion de la ressource dans sa globalité au niveau régional. Cette institution est une hypothèse, explicite ou implicite, commune à l'ensemble des recherches empiriques et théoriques qui abordent le problème

des ressources en eau dans cette région [Yaron 1994, Berk et Lipow 1994, Fischelson 1994, Dinar et Wolf 1994, Zeitouni *et al.* 1994].

Nous posons alors deux hypothèses à notre cadre de travail.

La première est celle de l'existence de deux Etats séparés et indépendants. Cette hypothèse a la particularité d'être plus ou moins forte en fonction des contingences politiques et en fonction des préférences des agents.

La seconde hypothèse est tout aussi aléatoire que la première. Une fois que la fiction de l'existence de deux Etats séparés est admise, nous supposons que ces derniers acceptent le principe de la coopération pour une gestion de la ressource à l'échelle des deux territoires. Une institution internationale symbolise cette coopération, et la question posée est alors celle des pouvoirs délégués à l'institution.

Les deux principales solutions théoriques de la régulation des externalités environnementales sont la fiscalité et les marchés de droits. Nous les opposons dans le prochain chapitre. Si ces solutions, lorsqu'elles sont correctement conçues, peuvent donner des résultats à l'échelle nationale, leur application peut être compromise à une échelle internationale.

CHAPITRE 2

LA REGULATION DES EXTERNALITES : FISCALITE PIGOUVIENNE VERSUS MARCHÉ COASIEN

INTRODUCTION

L'examen de la situation des ressources en eau dans cette région suggère une approche dans trois directions.

La première, est celle de la négociation politique entre les acteurs pour le partage des ressources. Les interdépendances existantes, ainsi que les contraintes tant stratégiques que politiques, nous conduisent à proposer les concepts de la théorie des jeux comme outils de modélisation et d'aide à la décision (interface science économique / science politique). Des modèles de gestion des conflits politiques autour des cours d'eau internationaux ont déjà été proposés [Vlachos, 1990 ; Priscoli, 1994, Anderson, 1994]. Ces modèles peuvent être classés par rapport à la phase du phénomène qu'ils décrivent. On peut ainsi distinguer les modèles qui traitent des issues des conflits, les "*outcome models*" tel que le MATS (Multi-Attribute TradeOff System), de ceux qui abordent leur déroulement, les "*process models*" tels que l'ADR (Alternative Dispute Résolution) ou le PIN (Process of International Négociation). Les premiers s'appliquent à la troisième phase du processus dynamique du conflit i.e. la résolution, quant aux seconds, ils tendent plutôt à s'appliquer à la première et à la seconde phase, c'est-à-dire l'engagement et le déroulement.

La deuxième approche est celle de l'allocation optimale des ressources existantes via la mise en œuvre de mécanismes économiques d'incitation permettant la prise en compte de la rareté dans le comportement des agents. Les instruments préconisés par la théorie économique, et largement développés dans la littérature, sont les prix et les quantités, autrement dit la fiscalité ou les marchés de droits. La création d'une institution commune indispensable à la gestion globale des ressources pourrait transformer le conflit politique en un conflit économique sur l'appropriation des revenus.

La troisième direction nous ramène au champ de la théorie économique de l'évaluation des projets afin de répondre aux besoins de nouvelles sources d'approvisionnement. Toutefois, le recours à de nouveaux investissements comme moyen pour régler la question de l'eau n'est économiquement justifié que si la gestion de la ressource est efficace, ce qui requiert une tarification adaptée. La problématique de Fischelson [1994] s'inscrit dans ce cadre là. Le prix d'équilibre⁹ de la ressource est trop élevé en raison d'un déficit structurel de l'offre. La réduction de ce prix d'équilibre ne peut se faire sans un accroissement de l'offre, c'est-à-dire par un apport de l'extérieur du bassin versant, d'une quantité d'eau supplémentaire. Les solutions envisagées jusqu'à ce jour¹⁰ ont toutes un coût supérieur au rendement de l'eau dans l'agriculture.

En envisageant la dynamique à long terme, l'auteur pronostique un accroissement du coût marginal jusqu'à la limite du coût marginal de dessalement (actuellement évalué autour de 0.80\$/m³). Alors que le prix d'équilibre à court terme est de 0.35\$/m³, en tenant compte du coût du capital, il s'établit à long terme à 0.45\$/m³. Le rendement de l'eau dans l'agriculture étant aux alentours de 0.20\$/m³, à 0,45\$/m³ une limite est atteinte.

Aucune solution d'importation ne peut être envisagée sans tenir compte de ces éléments. En conclusion, le projet d'importation de l'eau du Nil, à un coût marginal de 0,40\$/m³ semble être économiquement justifié. Les gains régionaux peuvent être également accrus par un transfert de technologie avec l'Egypte [Dinar et Wolf 1994].

⁹ Cet équilibre est obtenu par la construction des courbes d'offre et de demande.

¹⁰ Parmi celles-ci, il y a un projet de pipeline qui depuis la Turquie alimenterait la Jordanie, Israël et les territoires occupés, et le dessalement de l'eau de mer. Un autre projet, certes séduisant, est celui d'un canal qui irait de la Méditerranée à la mer morte située à 400 m d'altitude en dessous du niveau de la Méditerranée. Cette différence d'altitude permettrait d'une part de produire de l'électricité qui pourrait être utilisée pour dessaler l'eau de mer, et d'autre part de régénérer la mer morte.

Nous nous inscrivons dans la deuxième approche. La problématique théorique est celle des externalités. Nous limiterons notre champ d'investigation aux solutions théoriques des externalités "*quantitatives*" générées par la consommation de l'eau.

Dans un contexte international de partage de la ressource eau, la solution qui prédomine dans la littérature économique est celle des marchés de droits. Cette solution, au moins pour les auteurs qui s'en réclament, est un gage de flexibilité et d'efficacité de l'allocation des ressources aux usages les plus productifs. Toutefois, les auteurs oublient souvent de considérer dans leur évaluation des marchés de droits la part des investissements de réseaux et de stockage, prise en charge par le secteur public.

Dans une première section, nous "*revisitons*" la littérature théorique ayant donné naissance à la théorie des marchés de droits. Nous l'opposons à la solution fiscale ou solution pigouvienne à laquelle elle apparaît comme une alternative. Le débat de fond qui oppose les auteurs ces deux courants de pensée, réside dans l'ambiguïté du traitement de la question de l'indemnisation des victimes de l'externalité par Pigou, et donc sur l'optimalité de la solution pigouvienne aux externalités. Nous comparons les deux instruments - prix et quantité – en information imparfaite. L'incertitude porte soit sur le bénéfice marginal de la réduction des externalités, soit sur le coût marginal du dommage subi.

Dans une deuxième section, nous discuterons les modèles de marché de droits. Ceux qui abordent le problème des ressources en eau au Proche-Orient ont en commun un inconvénient, celui d'évacuer, en le supposant résolu, le problème de la définition des droits de propriété ainsi que celui de l'allocation initiale de ces derniers. Or ce problème est préalable à la mise en place du marché. Le contexte hydrologique et politique rend difficile le recours à cette solution. Nous commenterons ensuite les expériences de marchés de droits existants en Californie et au Chili ; la littérature est fort modeste sur le marché de l'eau australien.

SECTION 1 : EXTERNALITES ET SOLUTIONS THEORIQUES

Le désaccord entre les deux courants de pensée des solutions au problème des externalités, a porté non seulement sur la nature du problème à traiter, mais également sur l'optimalité de la solution. Coase [1960], relayé par d'autres auteurs [Buchanan et Stubblebine 1962, Turvey 1963, Crooper et Oates 1992], ont mis en exergue la réciprocité du problème des externalités ainsi que l'ambiguïté de la réponse de Pigou à ce problème. La solution pigouvienne est incomplète, à moins qu'elle ne soit assortie d'une indemnisation des victimes des externalités.

1.1 - Externalités

Le concept d'économie externe est né avec Marshall et constitue la source historique de la théorie des externalités [Laffont 1977]. En effet, Marshall [*Principles of economics*], en analysant les facteurs concrets des rendements croissants d'une firme, en isole deux : les "*économies internes*" et les "*économies externes*". Les premières sont inhérentes à la taille de la firme, à son organisation interne, alors que les secondes sont fonction de l'environnement de celle-ci, du progrès général de l'environnement industriel, et donc de la localisation de la firme au sein d'un bassin industriel. Pigou [*Economics of welfare*, 1920], en affectant d'un signe négatif ce que Marshall nomme les économies externes, définit les déséconomies externes existantes dans une économie de concurrence. Toutefois, externe ne signifie plus externe à la firme comme le décrivait Marshall, mais externe à l'échange marchand. L'externalité est alors définie comme la différence entre le coût marginal social, ensemble des coûts imposés par une activité à la collectivité, et le coût marginal privé, ensemble des facteurs de production utilisés par la firme (matières premières et travail). Cette différence ne faisant pas l'objet de compensation sur le marché, se trouve alors posé le problème de la convergence des intérêts privés et des intérêts publics¹¹.

La problématique théorique posée par l'externalité est celle de l'interdépendance des fonctions d'utilité et/ou de production des agents, se traduisant par des interdépendances

¹¹ Pigou est le premier à prendre des exemples d'environnement pour illustrer l'analyse en terme d'externalité.

dans leur fonction-objectif. Pour illustrer notre propos, prenons l'exemple d'une firme E qui pollue et d'un consommateur R pollué.

Les relations entre les deux agents peuvent être exprimées de la façon suivante :

$$U = U(x, q), \quad (2.1)$$

$$x = x(l, e, q), \quad (2.2)$$

$$q = q(e), \quad (2.3),$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} > 0, \quad \frac{\partial U}{\partial q} < 0, \quad \frac{\partial x}{\partial l} > 0, \quad \frac{\partial x}{\partial e} > 0, \quad \frac{\partial x}{\partial q} < 0, \quad \frac{\partial q}{\partial e} > 0.$$

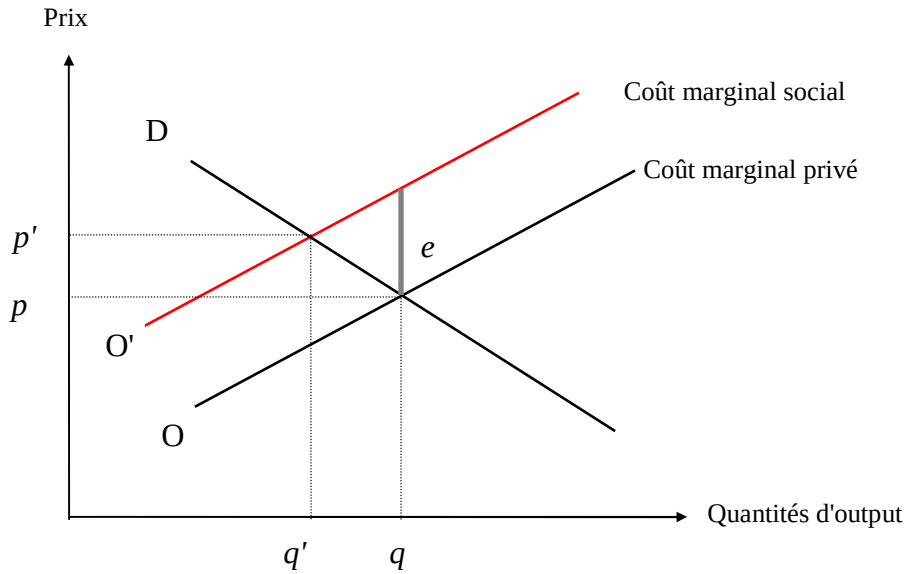
L'utilité U du consommateur, représentée par l'équation (2.1) est fonction des biens x consommés, et du niveau de pollution q . L'équation (2.2) exprime la production du bien x avec l input travail, e pour les externalités émises et q le niveau de pollution qui en résulte. Le niveau de pollution q est fonction des émissions d'externalités e .

Ces externalités, qu'elles soient de consommation ou de production se retrouvent dans la fonction d'utilité du consommateur et dans la fonction de production de la firme, sans que ces derniers l'aient choisi et sans compensation. Autrement dit, il y a externalité à chaque fois que le bien-être d'un consommateur ou les possibilités de production d'une firme sont affectés par les actions d'un agent économique, sans que cette perte ou ce surplus de bien-être ne soit compensé.

1.2 - La solution pigouvienne : solution fiscale

Pour Pigou, ces externalités sont le résultat de l'écart entre les coûts privés et les coûts sociaux. Il est nécessaire que les agents pollueurs soient confrontés à un prix égal au coût marginal social. La solution pigouvienne consiste à faire payer au générateur de l'externalité, une taxe t_k correspondant à la valeur du dommage marginal que son externalité impose aux consommateurs.

Le coût privé de production est augmenté du coût du dommage t_k , ce qui a pour conséquence de déplacer la courbe d'offre de la firme de O vers O' (figure 2.1). A l'équilibre, il en résulte un nouveau prix p' supérieur à p et des quantités d'output produites q' inférieures à q .

Figure 2.1: Solution pigouvienne aux externalités


Dans l'hypothèse d'un environnement parfaitement concurrentiel, l'optimum de pollution et de production de la firme E se retrouve au point de rencontre entre O' et D. La taxe optimale doit être égale au coût marginal de l'externalité, i.e. au montant des dommages.

La firme E maximise sa fonction de profit, compte tenu des externalités émises :

$$\pi = pq - c(q) - e(q),$$

p , étant le prix de l'output,

q , la quantité d'output, et

$e(q)$, la quantité d'externalité émise par la firme E. Cette quantité est fonction du volume q d'output produit. Si π est la fonction de profit social de la firme, les conditions de premier ordre sont :

$$\frac{\partial \pi}{\partial q} = p - \frac{\partial c}{\partial q} - \frac{\partial e}{\partial q} = 0 \quad (2.4)$$

$$p = \frac{\partial c}{\partial q} + \frac{\partial e}{\partial q}.$$

A l'équilibre, le prix est égal au coût marginal social.

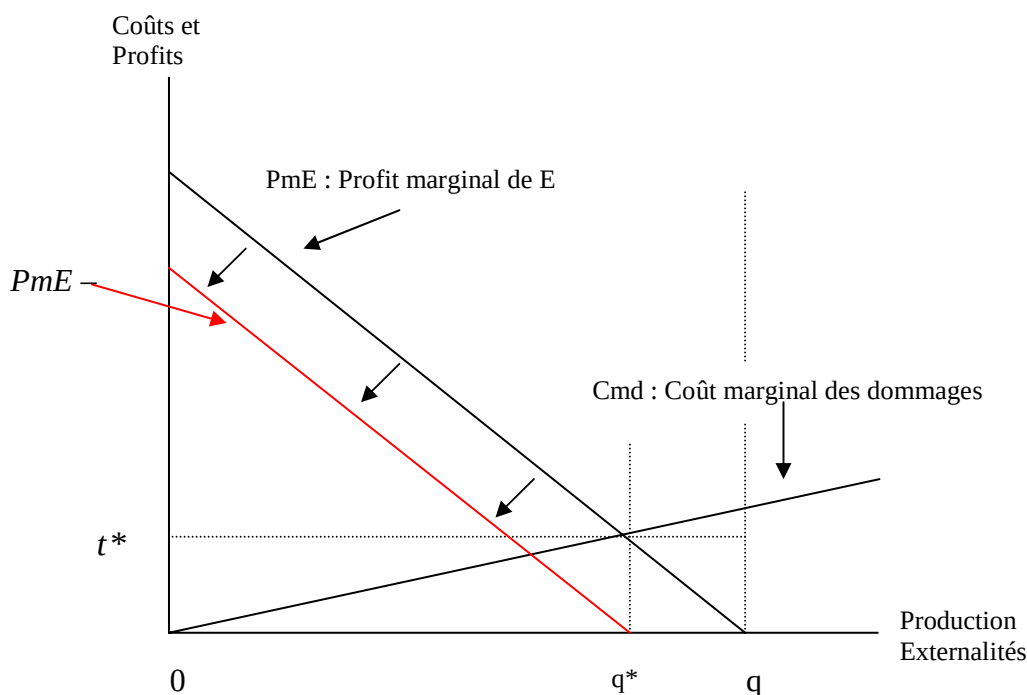
L'équation (2.4) modifiée nous donne les conditions de l'équilibre :

$$p - \frac{\partial c}{\partial q} = \frac{\partial e}{\partial q} \quad (2.5).$$

A l'équilibre, le bénéfice, net du coût marginal de production $p - \frac{\partial c}{\partial q}$ de la firme, est égal au coût marginal des dommages que celle-ci impose à la collectivité représentée ici par R, le récepteur des externalités. Le montant optimal de la taxe est alors : $t^* = \frac{\partial e}{\partial q}$.

Schématiquement, la représentation graphique ci-dessous (figure 2.2) permet de visualiser l'optimum de production d'externalité au point d'intersection entre la courbe de profit marginal de la firme E, PmE et celle du coût marginal des dommages imposé à R, Cmd . En l'absence de t^* , le niveau optimal de production de la firme, celui qui maximise son profit, se situe au point q qui annule son profit marginal. Lorsque la firme doit s'acquitter de t^* , sa courbe de profit marginal se déplace vers la gauche. La courbe de coût marginal des dommages de l'agent R est une fonction croissante de l'activité de la firme E. L'optimum de production, et donc le niveau optimal des externalités, se trouve au point de rencontre entre PmE et Cmd , et correspond à la production q^* qui maximise le bien-être collectif. Toute production supplémentaire au-delà de q^* fait peser sur la société un coût - Cmd - supérieur au bénéfice de la production - PmE , conduisant à une diminution du bien-être collectif.

En imposant à la firme E une taxe t^* par unité de pollution émise, on réduit son profit marginal du montant de la taxe t^* . On obtient alors une nouvelle courbe de profit marginal ($PmE - t^*$) qui annule le nouveau profit marginal de la firme au point q^* défini comme l'optimum de pollution. La firme est alors confrontée au coût social que son activité impose à toute la collectivité.

Figure 2.2 : Taxe et optimum de production

D'après [Turvey 1963]

1.3 - A l'origine des marchés de droits, une alternative à la solution pigouvienne

Si Pigou est le premier à avoir défini l'externalité comme la différence entre le coût social et le coût privé, la solution qu'il propose, est critiquée et contestée par plusieurs auteurs [Coase 1960, Buchanan et Stubblebine 1962, Dales 1968].

Deux principales critiques sont adressées à la solution pigouvienne. D'une part, cette dernière élude la réciprocité du problème posé par les externalités et, d'autre part, la solution est incomplète. La solution coasienne apparaît dans ces conditions comme une alternative à la première, venant pallier ces deux inconvénients.

1.3.1 - Réciprocité du problème des externalités

La seule taxation des externalités, la tarification de l'output au coût marginal social, est insuffisante. Elle a un caractère unilatéral que récusent certains auteurs [Coase 1960, Buchanan et Stubblebine 1962, Turvey 1963].

En effet, l'approche traditionnelle qui consiste à taxer la quantité de pollution émise par le pollueur attribue la responsabilité des dommages à l'émetteur de l'externalité et élude la réciprocité du problème posé.

Pour reprendre l'exemple de Coase, faut-il demander au pâtissier d'assumer les coûts inhérents à la réduction des externalités de son activité (bruits et vibrations) qui perturbent celle du médecin voisin, ou l'inverse ? La question posée par l'auteur est la suivante : doit-on demander au pâtissier de déménager ou au médecin de s'installer ailleurs ? Pour réduire les externalités subies par le médecin il faudrait infliger un coût au pâtissier, et *vice versa*. Lequel des deux doit-il assumer l'internalisation des coûts ?

En soulevant la nature réciproque du problème, l'auteur met en exergue la question de la responsabilité du dommage. *"The real question that has to be decided is : should A allowed to harm B or should B be allowed to harm A ?"* [Coase 1960, p.2]. L'imposition du responsable du dommage devient un sujet d'équité, de définition des droits de propriété, et non pas d'allocation de ressource. Pour Coase, aucune réponse ne peut être apportée tant que l'on ne mesure pas la valeur de ce qui peut être obtenu, au regard de la valeur de ce qui doit être sacrifié. En d'autres termes, *"this problem has to be looked at in total and at the margin"* [Coase 1960, p.2].

Mais, à supposer que la firme soit propriétaire des ressources, le récepteur est celui qui doit reverser une indemnité au pollueur, la firme serait alors subventionnée. Auquel cas, le résultat en termes de réduction des externalités peut très bien être différent.

1.3.2 - Taxer ou subventionner : quelles différences ?

La taxe ou la subvention des entreprises par unité de pollution supprimée conduit à court terme au même équilibre, le prix restant constant. En revanche, à long terme, la taxe accroît le coût marginal et le coût moyen, alors que la subvention accroît le coût marginal mais diminue le coût moyen. Soient :

$\bar{q}$ le montant de la production maximale d'externalités fixé par le régulateur,

q le montant de la production d'externalités en l'absence de régulation,

$cT_s(p, q, s)$ est le coût total de la firme subventionnée, et

$cT_t(p, q, t)$ le coût total de la firme taxée.

Lorsque la firme est taxée, nous obtenons :

$$cT_t(p, q, t) = c(p, q) + tq$$

$$cm_t = \frac{\partial c}{\partial q} + t$$

$$CM_t(p, q, t) = \frac{c}{q} + t$$

et lorsqu'elle est subventionnée,

$$cT_s(p, q, s) = c(p, q) - s(\bar{q} - q)$$

$$cm_s = \frac{\partial c}{\partial q} + s$$

$$CM_s(p, q, s) = \frac{c}{q} + s - s \frac{\bar{q}}{q}$$

A long terme, la subvention réduit le coût moyen de production de la firme, tandis que la taxe accroît le coût moyen. L'accroissement du profit consécutif à la réduction du coût moyen qui résulte de la subvention, peut favoriser l'entrée dans la branche, un accroissement de la production, et *in fine* il peut en résulter un accroissement des externalités émises.

1.3.3 - Incomplétude de la solution pigouvienne

La deuxième opposition du courant coasien se rapporte à l'inefficacité parétienne de la solution pigouvienne. Il s'agit de la question de l'indemnisation des victimes des externalités. La question posée est la suivante : faut-il indemniser la victime des externalités ? "L'exégèse" par Coase [1960] des textes de Pigou prend différentes directions en fonction des cas abordés. Quelquefois il semblerait que Pigou préconise implicitement l'indemnisation des victimes, et dans d'autres cas la question n'est pas évoquée. Il y a donc une ambiguïté dans le traitement de la compensation chez Pigou. Ainsi, R. Coase écrit à ce propos :

"Indeed, Pigou's treatment of the problems considered in this article is extremely elusive and the discussion of his views raises almost insuperable difficulties of interpretation. Consequently it is impossible to be sure that one has understood what Pigou really meant."

Coase, [1960], p.39

La confusion est également partagée par Cropper et Oates [1992]. Ces derniers écrivent au sujet de la solution pigouvienne aux problèmes des externalités :

"... there has been no mention of any compensation to the victims of externalities. This is an important point – and a source of some confusion in the literature..."

Cropper et Oates, [1992], p.680

Quoi qu'il en soit, si la solution pigouvienne est celle qui doit être préconisée comme solution aux externalités, la ponction d'une taxe sur les pollueurs doit être accompagnée d'une indemnisation des victimes. Si l'on veut que la procédure soit pareto-optimale, le prélèvement effectué sur l'un des agents doit être reversé à d'autres agents. Par conséquent, comme le font remarquer Buchanan et Stubblebine [1962], l'équilibre pareto-optimal ne sera obtenu par la taxation du pollueur qu'à la seule condition qu'elle soit accompagnée d'une subvention, c'est-à-dire d'une indemnisation des victimes, des coûts induits par les externalités¹².

Que les agents soient des firmes ou des personnes, imposer la firme A sans reverser à la victime R le produit de la taxe à titre d'indemnisation, peut entraver l'allocation optimale des ressources en laissant la solution pigouvienne incomplète. La distorsion introduite par la taxe pigouvienne provient du fait que l'allocation optimale des ressources qui maximise la somme algébrique des pertes de R et des gains de A peut être différente de celle qui maximise la somme des pertes de R, des gains de A et de la charge de la taxe sur A¹³.

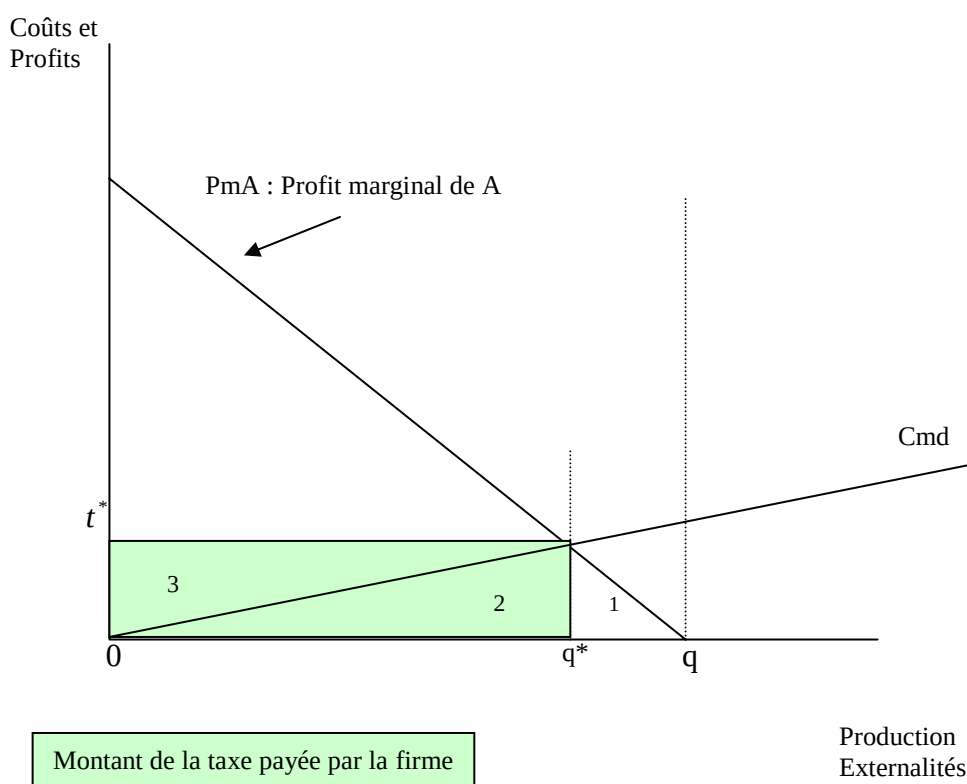
¹² "The important implication to be drawn is that full Pareto-equilibrium can never be attained via imposition of unilaterally imposed taxes (...), if a tax-subsidy method (...) is to be introduced, it should involve bilateral taxes (subsidies)" Buchanan et Stubblebine, [1962], pp.371-384.

¹³ "... to levy a tax on A which is not received as damages or compensation by B may prevent optimal resource allocation from being achieved (...). The reason is that the resource allocation which maximises A's gain less B's loss may differ from that which maximises A's gain less A's tax less B's loss." Turvey [1963] p.310.

1.3.4 - Que fait-on payer ?

En supposant que la taxe soit entièrement reversée à la victime, elle n'en demeure pas moins trop élevée comme le montre la figure 2.3. Restons dans le cas où la firme n'est pas propriétaire des droits. Cette dernière est pénalisée à deux reprises. La première fois en payant le montant de la taxe (aires des zones 2 et 3), et la seconde en réduisant sa production et *in fine* son profit (aire de la zone 1). Plus précisément Noël et Fauchaux [1995] , décomposent la taxe en trois parties.

Figure 2.3 : Décomposition de la taxe pigouvienne



t^* : Niveau de la taxe

Zone 1 : le coût de la dépollution ou de la réduction de la pollution

Zone 2 : la valeur monétaire des dommages que la firme impose à la collectivité

Zone 3 : la taxe résiduelle interprétée comme la rente de l'utilisation de la ressource environnementale.

Les zones 1 et 2 correspondent à l'internalisation. Les zones 2 et 3, correspondent au montant de la taxe versée par la firme responsable de l'externalité. Le montant de la taxe payée (2+3) par la firme est supérieur au montant des dommages (2). En outre, si l'on tient

compte de la capacité d'assimilation du milieu, la taxe versée par le pollueur est encore plus élevée que le montant du dommage. La question posée est alors : que faire payer au responsable des dommages et quel montant reverser à la victime ?

1.3.5 - Inefficacité de la taxe à long terme

Un autre inconvénient inhérent à la solution pigouvienne est celui des conditions d'une information parfaite sur le coût des dommages. Afin de déterminer le montant de la taxe optimale, c'est-à-dire une taxe égale au coût marginal des dommages, le régulateur aurait besoin de déterminer les coûts et les bénéfices incrémentaux des dommages sur un éventail assez large [Collinge et Oates, 1982, Collinge et McKittrick 2000]. En effet, le montant optimal de la taxe pigouvienne est égal au coût marginal des dommages au moment de sa détermination, i.e. à court terme, c'est-à-dire au niveau de pollution égal au niveau de la production optimale. Or, les mesures politiques de correction des externalités doivent tenir compte des conditions d'entrée-sortie des firmes dans la branche. La fiscalisation doit par conséquent s'ajuster à l'évolution du coût marginal du dommage à long terme. A moins d'avoir une courbe de coût marginal du dommage parfaitement horizontale, la taxe pigouvienne ne satisfera pas les conditions d'entrée-sortie pour une allocation efficace des ressources.

L'alternative serait alors d'ajuster continuellement le montant de la taxe au niveau du dommage réel.

1.3.6 - Imperfection du marché et optimalité de la taxe

Buchanan [1969] attire l'attention sur le fait qu'en présence de monopole, une taxe pigouvienne réduit le bien-être social par la contraction supplémentaire de la production du monopoleur. Dans ce cas particulier, le bénéfice de la réduction de la pollution doit être supérieur à la perte de production induite par la réduction de la production. Lee [1975] et Barnett [1980] donnent une solution à ce problème en proposant une taxe de second rang inférieure à la taxe unitaire en concurrence parfaite t_c .

$$t^* = t_c - \left| (p - Cm) \right| \frac{\partial q}{\partial e}$$

La taxe pigouvienne de concurrence parfaite t^* est diminuée de la perte de bien être due à la réduction de l'output du monopoleur. Cette perte s'exprime par l'écart entre le prix de marché p et le coût marginal Cm de production multiplié par la réduction de la

production associée à une réduction d'une unité de pollution. La taxe de second rang est donc fonction de l'élasticité de la demande du produit par rapport au prix. Plus l'élasticité du produit est élevée, et plus l'écart entre la taxe de concurrence parfaite et la taxe de second rang est réduit, et *in fine* la perte de bien être faible.

1.4 - Solution coasienne : l'école des droits de propriété

Mais, la principale critique du courant coasien, demeure celle de l'incomplétude de la solution pigouvienne. Pour Coase [1960], l'approche en termes de divergence entre coût social et coût privé incite à croire que toute mesure ayant pour objet la résorption de ce déficit est une solution. Cette vision détourne l'attention de l'approche en termes de coût d'opportunité. La manifestation d'externalité est la conséquence de l'inexistence de droits de propriété explicites sur les ressources environnementales. Les auteurs du courant coasien affirment qu'en l'absence de coûts de transaction et de comportements stratégiques, les distorsions associées aux externalités peuvent être résolues dans le cadre d'une négociation volontaire entre les parties intéressées, par la simple définition des droits de propriété sur les biens faisant l'objet d'externalités. Les agents sont mieux à même que l'Etat de déterminer leurs bénéfices et dommages marginaux. L'auteur de "*the problem of the social cost*" distingue deux variantes à la négociation bilatérale entre un émetteur d'externalité E et un récepteur R.

- L'émetteur E reverse à R, propriétaire de la ressource, une indemnité compensatrice des dommages subis.
- Le récepteur R verse une somme à l'émetteur E propriétaire de la ressource, soit pour le dissuader de produire à un certain niveau, soit pour qu'il s'équipe en moyens pour réduire ses émissions.

La question posée à l'économiste dans ce cadre là est celle de la propriété des ressources environnementales. De la référence à telle ou telle variante, dépendra l'allocation initiale des droits de propriété entre les agents.

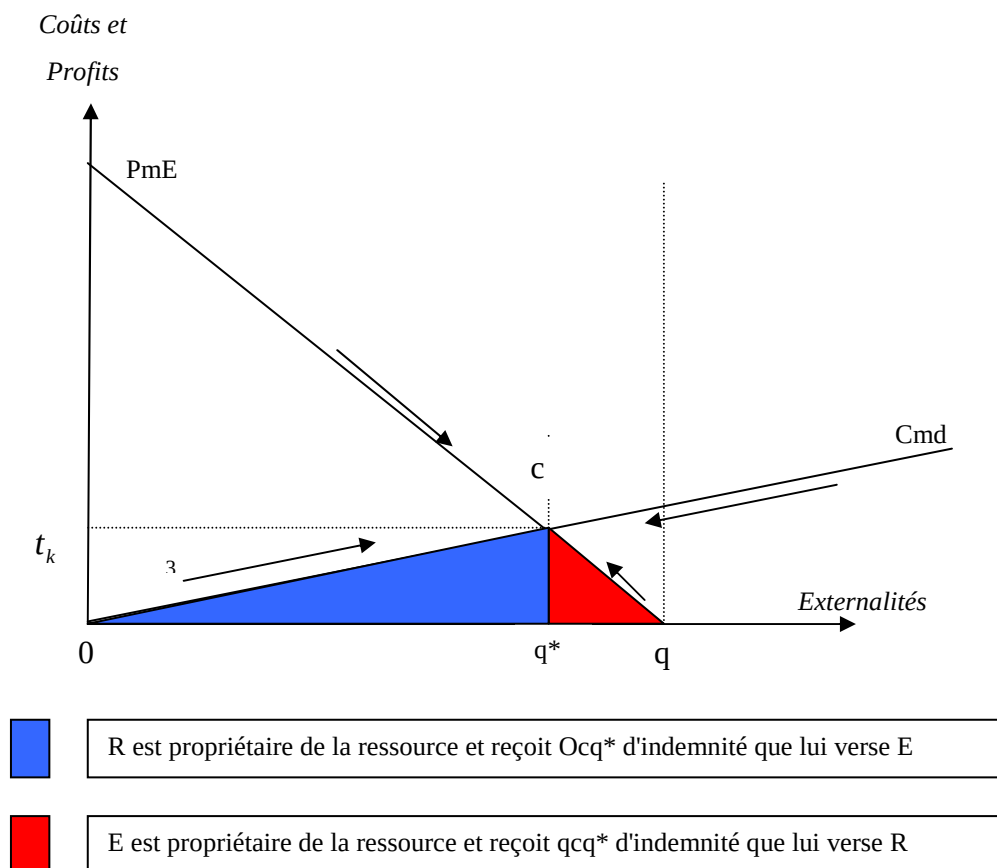
Supposons que les droits de propriété soient clairement définis, et que les deux agents décident de négocier. Les deux cas de figure de la négociation bilatérale sont les suivants.

R est propriétaire de la ressource, et sa courbe de coût marginal des dommages est une fonction croissante de l'activité de la firme E (figure 2.4). Pour pouvoir émettre des

externalités, E est contraint de verser à R une indemnité égale au coût marginal des dommages que ce dernier subit. La négociation s'arrêtera au moment où le profit marginal de la firme E est égal à la valeur des dommages imposés à R. Le niveau optimal de l'activité de E se situe, comme dans le cas de la solution pigouvienne, au point q^* . Il correspond également à l'optimum des externalités. Le graphique 2.4 suivant permet de visualiser la charge OCq^* , que la firme E doit reverser à R propriétaire de la ressource. Contrairement à la taxe, la négociation fait peser sur la firme une charge égale à la valeur des dommages que celle-ci impose à la collectivité.

Lorsque c'est la firme E qui détient les droits de propriété sur la ressource, c'est à R de négocier avec E une réduction de ses externalités en lui faisant une offre, soit pour qu'elle s'équipe de moyens techniques pour réduire ses externalités, soit pour compenser son manque à gagner relatif à la réduction de sa production. Cette offre est égale à la valeur de la perte de profit marginal de E. La négociation se poursuivra tant que le coût marginal des dommages sera inférieur au profit marginal de la firme. Cette négociation s'arrêtera au point q^* . En ce point, le montant de la compensation versée par R est de qCq^* .

Figure 2.4 : La négociation coasienne



Dans les deux cas de figure, quelle que soit l'allocation initiale des droits de propriétés, à E ou à R, la solution correspond à ce que l'un est disposé à payer et l'autre à recevoir. Ce point d'équilibre détermine le niveau optimal de production d'externalité, et il est identique dans l'un comme dans l'autre cas. L'efficacité étant garantie par l'échange, la distribution initiale des droits de propriété n'affecte pas le résultat, mais la répartition des richesses [Turvey 1963]¹⁴. Le problème posé par les externalités n'est plus une question d'efficacité mais d'équité.

1.4.1 - Le "*super théorème de Coase*"

Coase n'a jamais prétendu avoir démontré un quelconque théorème. Le "*théorème de Coase*" n'est qu'une extension et une interprétation du célèbre article de 1960 que lui ont attribué les économistes, et dont le premier auteur fut Stigler [Dixit et Olson 2000]. Sa formulation convient à Coase. Ce dernier observera en effet à ce propos que l'énoncé de Stigler du Théorème de Coase diffère de la façon dont il l'avait exprimé dans son article, mais qu'il n'y a cependant aucune incompatibilité [Coase 1988].

On retrouve donc dans la littérature autant de "*théorèmes de Coase*" que d'interprétations de l'article de 1960¹⁵. Il est attribué à l'auteur des interprétations, un résultat déductif et une universalité auxquels il n'a jamais prétendu [Dixit et Olson 2000]. Toutefois, dans ces différentes formulations du théorème, deux idées reviennent systématiquement. La première est celle de l'efficience et de l'unicité de l'allocation finale des ressources ; la seconde est celle de l'indépendance du résultat final de la négociation, par rapport à l'allocation initiale des droits de propriété.

Le théorème de Coase, et par conséquent ses interprétations, ne sont pas exemptes de critiques que l'on peut classer en deux grandes catégories. La première concerne l'indépendance de la distribution initiale des droits de propriétés par rapport au résultat de la négociation, et la seconde porte sur les coûts de transaction.

Au sujet de la première assertion du théorème sur l'indépendance de l'allocation initiale des droits de propriété par rapport à l'allocation finale, la principale critique porte

¹⁴ "when negotiation is possible, the case for government intervention is one of justice not of economic efficiency, ..." R. Turvey p.313.

¹⁵ Pour des classifications des différentes interprétations du théorème de Coase, voir entre autres auteurs : Cooter [1987], Medema [1994], Medema et Zerbe [2000].

sur le fait que la disposition à payer est bornée par les revenus alors que la disposition à recevoir ne l'est pas. Si celui qui ne possède pas les droits n'est pas en mesure de payer la compensation au propriétaire du droit, l'égalité entre les consentements à payer et à recevoir ne peut avoir lieu, et par conséquent l'optimum de pollution n'est plus atteint. La dotation initiale de droits de propriétés affecte donc bien les résultats [Medena et Zerbe 2000].

Baumol et Oates [1988] font également remarquer que si la victime est indemnisée, alors la compensation peut entraîner des distorsions dans la perception des dommages, certaines victimes pourraient être incitées à ne pas se protéger et à instrumentaliser les externalités dans l'objectif d'en tirer profit.

La seconde critique porte sur la seconde affirmation du théorème, à savoir le fait que la validité de ce dernier est assujettie à l'absence de coûts de transaction, ou plutôt à leur faiblesse. Pearce et Turner [1990] ont critiqué le caractère tautologique du théorème de Coase, affirmant que quelle que soit l'importance des coûts de transactions, la solution de Coase qui en résulte est optimale. En effet, si les coûts de transaction sont élevés et dépassent les bénéfices escomptés de la négociation, il est alors plus efficace de ne rien faire plutôt que de mettre en place la négociation. Et si les coûts de transactions sont faibles, l'optimum est assuré par la négociation.

Dixit et Olson [2000] insistent sur la différence entre l'idée originelle de Coase sur les coûts de transaction et les théorèmes qu'en ont déduit les économistes. Après avoir pris le soin de préciser que ce sont les interprétations de l'article de Coase qui sont abusives, les auteurs remettent en cause le théorème, rejoignant en cela Pearce *et al.* [1990]. Non sans ironies, ils écrivent à ce propos à la page 311 : "... *if Coase theorem is true, so is a super Coase theorem, namely that rational parties will necessarily achieve a Pareto-efficient allocation through voluntary transactions or bargaining, no matter how high transaction cost might be*".

Par ailleurs, les auteurs invalident l'extension du théorème de Coase au cas où le nombre des acteurs s'élargit. La notion de négociation volontaire telle qu'entendue par Coase correspond à un jeu en deux étapes. La première étape est un jeu non coopératif au cours duquel les agents, individuellement, font le choix de participer à la négociation, qui fera l'objet de la seconde étape, ou de ne pas y participer. La seconde étape correspond au véritable processus de négociation coasienne. Cette négociation a lieu entre ceux qui ont choisi d'y participer. Illustrant leur démarche par un modèle, ils émettent des doutes quant

à l'universalité de la validité du théorème de Coase. En effet, l'introduction de coûts de transactions dans le modèle, même très faibles, conduit à des équilibres inefficients.

1.4.2 - Dales et les marchés de droits de propriété

Demsetz [1964 p.32] reformule l'analyse de Coase en les termes suivants : *"(...) rien de spécifique dans les effets externes ne justifie leur exclusion par le marché(...) une fois que les tribunaux ont établi qui a le droit d'agir. (...) en supposant que les coûts d'échange soient nuls, la négociation aboutit à une solution efficiente au problème de la rareté"*.

Si Dales [1968] n'est pas le premier auteur à suggérer la mise en place d'un marché, il est en revanche le premier à proposer explicitement la création d'un marché de droits de propriété. Il rejoint en cela l'idée du courant coasien selon laquelle l'existence des externalités est le résultat de l'absence ou de la mauvaise définition des droits de propriété sur les biens. L'externalité de pollution est donc une carence de droits de propriété sur les biens environnementaux. Pour pouvoir appliquer le théorème de Coase sur le marchandage, il faut auparavant définir des droits de propriété sur les ressources environnementales, puisqu'en effet *"... you can only buy, sell, lease, rent or borrow things that you owned; and the only things that are owned are property rights..."*[Dales 1968 p.59].

Pour illustrer ses propos, l'auteur prend l'exemple de la gestion de l'eau en Ontario. Ces droits de propriété correspondraient à des droits d'utilisation de la ressource. La quantité de rejets dans le milieu naturel est fixée ex-ante en fonction de la capacité d'assimilation du milieu. Les droits émis sont calculés eut égard à cette quantité maximale de rejets assimilable. Sur un marché concurrentiel de droits de propriété, il se détermine un prix d'équilibre qui sera égal au coût marginal de dépollution. Ce prix d'équilibre aura toutes les caractéristiques d'un optimum parétien par intégration de l'externalité dans le champ de l'économie.

Afin de pouvoir échanger l'objet environnemental (ou le droit à polluer) et créer les conditions d'un marché concurrentiel, les droits de propriétés doivent posséder les caractéristiques suivantes :

l'Universalité, c'est-à-dire l'appropriation privative de la ressource et la définition sans ambiguïté des titres de propriété ;

l'Exclusivité, les coûts et les bénéfices des droits sont à la charge ou au profit du propriétaire ;

la Transférabilité, les droits sont librement transférables par un échange volontaire ; et

l'Applicabilité, les droits sont respectés et protégés.

1.5 - Comparaison de la solution pigouvienne et le marché de droits en Incertitude

En information parfaite, il n'y a aucune différence entre les deux modes de régulation. Le régulateur a une connaissance parfaite de la fonction de bénéfice et de celle du coût des dommages. Il peut déterminer la taxe, ou la quantité de droits à émettre, qui va permettre de retrouver l'optimum collectif.

Soit q un output produit à un coût $C(q)$ par un ensemble de firmes. Il procure à la firme qui le produit un bénéfice $B(q)$, avec $B''(q) < 0$, $C''(q) > 0$, $B'(0) > C'(0)$, et $B'(q) < C'(q)$ pour une valeur de q élevée. La fonction-objectif de la firme est définie par $B(q) - C(q)$ et donc l'optimum se situe au point $p^* \equiv B'(q^*) = C'(q^*)$.

La régulation par les prix consiste à fixer le montant de la taxe à $t_k = p^*$. La firme réagit en ajustant son niveau de production, et donc son niveau d'émission à q^* tel que décrit dans la figure 2.2.

Une régulation par les quantités consiste à allouer des droits d'émission d'externalité à un niveau correspondant à q^* . Ces droits font l'objet d'échange entre les firmes sur un marché concurrentiel. Le prix d'équilibre de ces droits s'établirait à un niveau égal à p^* .

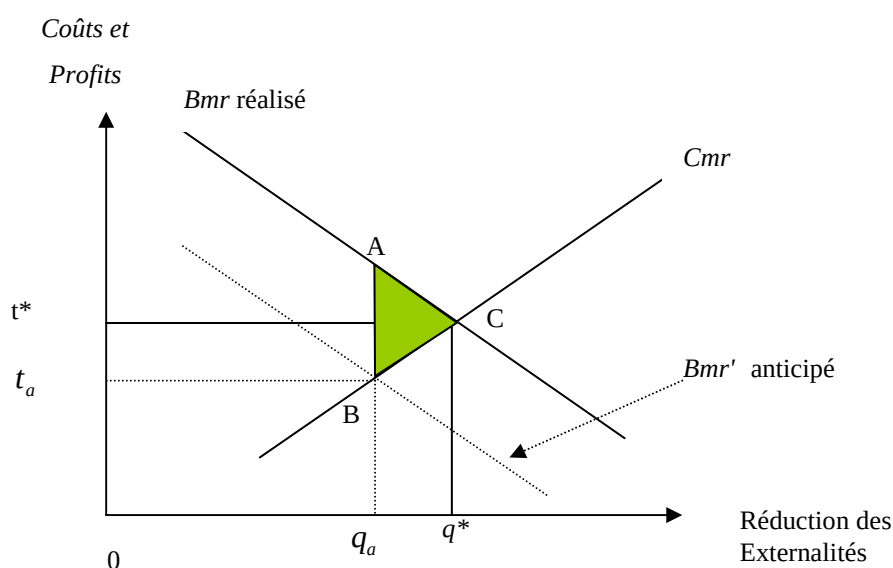
Dans un article déterminant de 1974, Weitzman compare l'efficacité des deux modes de régulation, par les prix et par les quantités, autrement dit, la taxe pigouvienne et les marchés de droits, en information imparfaite. L'incertitude porte soit sur le bénéfice marginal de la réduction des externalités, soit sur le coût marginal des dommages. Adar et Griffin [1976] aboutissent aux mêmes résultats, à la seule différence que ces derniers supposent des fonctions linéaires. Pour des raisons de simplicité de représentation, nous conserverons l'hypothèse de linéarité des fonctions de coûts et de bénéfice marginal de la réduction des externalités.

1.5.1 - Incertitude sur le bénéfice marginal de la réduction des externalités

Lorsque l'incertitude porte sur le bénéfice marginal de la réduction des externalités -Bmr-, la politique de régulation par les prix ainsi que la politique de régulation par les quantités sont toutes les deux inefficaces. Toutefois, il n'y a aucune différence entre les deux instruments, dans la mesure où ils conduisent à une perte de bien-être collectif qui est identique.

Le graphique 2.5 suivant permet d'illustrer ce résultat. Ce graphique se distingue des précédents par l'inversion de l'axe des ordonnées. Le long de cet axe, l'ordonnée à l'origine représente le niveau maximal de la production d'externalité, c'est-à-dire la situation correspondant au non-contrôle des émissions. La précédente fonction de profit marginal de la firme E PmE , s'interprète comme une fonction du coût marginal de la réduction des externalités de la firme que l'on note Cmr . Cette dernière est une fonction croissante de la réduction des émissions. La fonction de coût marginal des dommages s'interprète comme étant le bénéfice marginal de la réduction des externalités (Bmr), elle est une fonction croissante des efforts de réduction. Dans une logique de marché de droits, la seconde s'interprète comme une fonction de demande de droit d'émission, tandis que la première s'apparente à l'offre.

Figure 2.5 : Efficacité des régulations par les prix et par les quantités et incertitude sur la fonction de bénéfice marginal de la réduction des externalités



D'après Turvey [1963]

Supposons que le décideur ait une connaissance exacte de la fonction du coût marginal Cmr , mais conjecture l'allure de la courbe de bénéfice marginal de la réduction des externalités. Il anticipe le bénéfice marginal au niveau de Bmr' . Il fixera le prix à t_a pour une régulation par les prix, et les firmes réagiront en ajustant leur niveau d'émissions tel que la réduction des externalités soit égale à q_a . Le régulateur allouera la quantité q_a de droits de propriété¹⁶ pour une régulation par les quantités, et le prix d'équilibre sur le marché des droits se situera au point t_a . L'optimum parétien se situant au point C de coordonnées t^*q^* , la perte de bien-être collectif qui en résulte est identique dans les deux cas de figure. Elle est égale à l'aire de la surface grisée ABC .

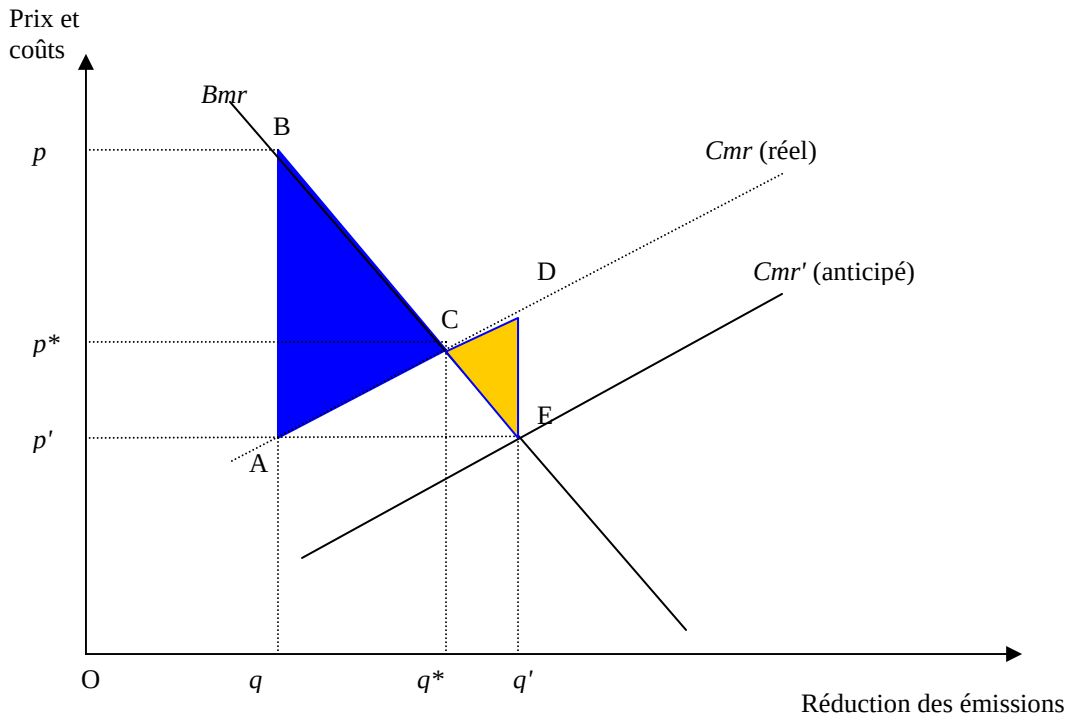
Cette équivalence entre les deux modes de régulation provient du fait que la fonction connue avec certitude est la fonction de coût marginal de la réduction des émissions. Cette fonction correspond en réalité à la fonction de réaction des firmes. Elle mesure la quantité d'externalités émise. Au signal t_a les firmes répondront par q_a , et vice versa, au signal q_a le prix d'équilibre sur le marché s'établira à t_a .

1.5.2 - Incertitude sur le coût marginal de réduction des externalités

Alors que l'on pourrait penser que, de façon symétrique, l'incertitude sur la fonction de coût marginal des réductions conduirait aux mêmes conclusions, c'est-à-dire à l'équivalence entre les deux modes de régulation, il n'en est rien. La figure 2.6 suivante illustre ce dernier résultat.

¹⁶ Notons que cette quantité de droits émise Oq_a est supérieure à la quantité optimale Oq^* qui devrait être émise à l'optimum.

Figure 2.6 : Efficacité des modes de régulation et incertitude sur la fonction de coût marginal de la réduction des externalités



- Perte de bien-être collectif dans le cas d'une régulation par les prix
- Perte de bien-être collectif dans le cas d'une régulation par les quantités

Le point E aux coordonnées $q'p'$ est le point d'équilibre anticipé par le décideur. L'équilibre parétien se situe en revanche au point C, à l'intersection de la courbe de Cmr et de celle de Bmr .

La Régulation par les prix

Au signal p' , les firmes réagissent par une réduction de leur quantité d'émission au niveau q . A ce niveau d'émission, le bénéfice marginal de la réduction des émissions (B) est supérieur au coût marginal réel de la réduction (A). La perte de bien-être collectif qui en résulte est représentée par la surface du triangle ABC. Elle se mesure par :

$$WLt = ABE - ACE = \frac{1}{2} \Delta p \Delta q - ACE ,$$

avec $\Delta p_t = Op - Op' = AB$ et $\Delta q_t = Oq' - Oq = AE$,

$$WL_t = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{e_{Bmr}} \right) \left(\frac{p}{q} \right) (\Delta q_t)^2 - ACE. \quad (2.6)$$

la régulation par les quantités

Au point d'équilibre (E) anticipé par le décideur, une allocation de droit correspondant à la quantité q' est émise. Elle est inférieure à la quantité q^* qui aurait dû être allouée. Cette quantité de droits fera l'objet d'échange sur un marché, et le prix d'équilibre s'établira à un niveau correspondant au point D. La perte de bien-être collectif qui en résulte est représentée par l'aire de la surface CDE. Elle se mesure de la façon suivante :

$$WL_q = ADE - ACE = \frac{1}{2} \Delta p_q \Delta q_q - ACE,$$

avec $\Delta p_q = DE$ et $\Delta q_q = Oq' - Oq = AE = \Delta q_t = \Delta q$,

$$WL_q = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{e_{Cmr}} \right) \left(\frac{p}{q} \right) (\Delta q)^2 - ACE. \quad (2.7)$$

Cette illustration permet de montrer que dans le cas d'une incertitude sur la fonction de coût marginal de la réduction des externalités, la perte de bien-être collectif est plus élevée lorsque la régulation s'effectue par le prix plutôt que par les quantités.

En combinant les équations (2.6) et (2.7), on obtient l'expression suivante :

$$WL_t - WL_q = \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{1}{e_{Bmr}} \right) \left(\frac{p}{q} \right) (\Delta q)^2 \right] - \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{e_{Cmr}} \right) \left(\frac{p}{q} \right) (\Delta q)^2 \right]$$

$$WL_t - WL_q = -\frac{1}{2} \frac{p}{q} (\Delta q)^2 \left(\frac{1}{e_{Bmr}} + \frac{1}{e_{Cmr}} \right) \quad (2.8)$$

L'équation (2.8) suggère que les deux instruments de régulation sont équivalents lorsque les élasticité des fonctions de coût et de bénéfice marginal de la réduction des externalités sont égales en valeur absolue, ou alors lorsque $\Delta q = 0$, c'est-à-dire lorsque le décideur anticipe la bonne fonction de coût. Dans ce dernier cas, la perte de bien-être collectif qui en résulte est nulle.

Lorsque l'élasticité de la courbe de bénéfice marginal des réductions est, en valeur absolue, supérieure à l'élasticité de la courbe de coût marginal des réductions, l'instrument taxe est plus efficace que l'instrument quantité. Réciproquement, lorsque la pente de la courbe de bénéfice marginal est, inférieure en valeur absolue, à celle de la courbe de coût marginal, l'instrument quantité est plus efficace.

Il existe donc une asymétrie de l'efficacité relative de la taxe par rapport au marché de droits, suivant que l'incertitude porte sur la fonction de bénéfice marginal des réductions ou sur le coût marginal des réductions. Dans le premier cas, les instruments de régulation sont identiques puisqu'ils conduisent à la même perte de bien-être collectif, mais pas dans le second. Stavins [1996] analyse le cas où, l'incertitude porte sur les courbes de bénéfice et de coût marginal de réduction des externalités. Cette incertitude est en outre corrélée. Lorsque l'incertitude porte sur les deux courbes, une corrélation positive entre les aléas affectant les courbes favorise l'efficacité de l'instrument quantité, tandis qu'une corrélation négative fait pencher le régulateur en faveur de l'instrument prix.

Conclusion : La régulation par les prix, une impasse politique

Quel que soit le mode de régulation retenu, une institution internationale chargée de la gestion de la ressource à l'échelle du bassin versant est indispensable.

La question de l'équité

Une taxe sur les prélèvements d'eau inciterait les agents à prendre en considération la rareté de la ressource à travers les coûts. La taxe pourrait être redistribuée entre les différentes entités politiques qui conserveraient la liberté de son affectation. Toutefois, cette solution ne serait pas optimale. En effet, comme nous l'avons fait remarquer au chapitre 1, la situation est caractérisée par la nécessité de recours à de nouvelles sources d'approvisionnement pour le développement de l'offre. Ces investissements de grande ampleur peuvent avoir des caractéristiques de bien public qui justifieraient la mise en commun des revenus. Dans ces conditions, il serait plus judicieux que la taxe soit affectée aux nouveaux investissements. Cette solution n'exclut cependant pas la recherche d'une

solution à la question de l'équité. Que la taxe soit redistribuée ou réaffectée, la question de l'équité reste au centre des négociations. Si la taxe est redistribuée, le critère du partage des recettes reste à trouver. Si la taxe est réaffectée, le développement de l'offre se ferait sur des critères purement économiques, i.e. dans l'ordre des coûts marginaux de développement des projets. Toutefois, le problème de la redistribution peut rester posé s'il n'existe pas de projet d'extension de la ressource correspondant à la disposition à payer des agents.

Incertitude, optimalité de la taxe et instabilité du prix de l'eau

Les coûts et bénéfices des quantités d'eau utilisées ont une valeur marchande. La seule difficulté d'évaluation qui subsiste correspond à l'évaluation monétaire des pertes et des gains d'aménité. En revanche, le bénéfice et le coût marginal de la réduction des externalités sont des fonctions de la quantité de ressource disponible. En effet, lorsque la quantité d'eau disponible est importante, les coûts d'opportunité des utilisations concurrentielles sont réduits, et les externalités tendent à disparaître. En période d'étiage, la réduction de l'offre d'eau tend à accentuer les interdépendances entre les fonction-objectifs des usagers agricoles entre eux, mais aussi avec ceux des usagers urbains, et donc à accroître les externalités. Or, les quantités de ressources disponibles sont dépendantes des aléas climatiques à court terme. Par conséquent, ces aléas hypothèquent la détermination optimale d'une taxe, puisque pour être efficace, celle-ci devrait être ajustée en permanence. Une politique efficace de régulation par les prix nécessite donc la révision systématique du niveau de la taxe, afin de tenir compte de la nature stochastique de l'offre d'eau et de la nature dynamique de la demande. Dans un contexte où les trois quarts de la ressource sont destinés à l'usage agricole, le réajustement systématique de la taxe conduit à des variations brusques du prix de l'input eau, et empêchent une lisibilité du prix de l'eau à court et long terme. Les décisions d'investissement des agriculteurs sont dans ce cas compromises.

Prix politique de la solution fiscale : un abandon de souveraineté

L'indépendance politique de l'institution est une des conditions de succès, quelle que soit la solution retenue. L'idée d'une telle institution commune, gérée de façon

collégiale par les deux entités politiques, a l'avantage de "déconnecter" et de libérer les autorités chargées de la gestion de l'eau des pressions des usagers agricoles. En effet, ces derniers exercent sur les pouvoirs politiques des pressions, qui jusqu'à présent, ont conduit à sous-tarifier l'eau et par-là même à contribuer à sa raréfaction.

Cette indépendance politique passe par l'indépendance financière. Ce qui voudrait dire, si l'on envisage une régulation par la fiscalité, que l'agence internationale de l'eau devrait être dotée du pouvoir de prélever un impôt. Avec tout ce que cette solution implique, à savoir fixer les taux de prélèvement, prendre des sanctions contre les fraudeurs et faire appliquer ces sanctions. Cette délégation de pouvoir, voire cet abandon de pouvoir à une autorité supranationale qui aurait un droit d'ingérence dans les affaires intérieures d'un Etat, est incompatible aussi bien avec les aspirations de souveraineté de chacune des deux entités politiques qu'avec les volitions d'autonomie exacerbées par un demi-siècle de conflit.

Si l'on considère que toute solution possède plus ou moins ses inconvénients, et que, compte tenu des incertitudes sur les fonctions de bénéfice et de coût des externalités, il est préférable de chercher à approcher la solution pareto-optimale plutôt de l'atteindre¹⁷. Alors, le principal inconvénient à la régulation par les prix est politique.

Pour l'ensemble de ces raisons, et principalement pour les raisons politiques évoquées ci-dessus, nous ne retiendrons pas la solution fiscale. Si l'on accepte l'idée que les négociations sur le climat constituent une expérience en matière de gestion d'une ressource commune entre plusieurs Etats, nous sommes obligés de constater qu'en l'absence d'autorité supranationale, le recours à la solution fiscale paraît impossible [Godard et Henry 1998]. C'est la raison pour laquelle ce sont des objectifs quantitatifs qui ont été admis comme base de négociation pour la régulation des gaz à effet de serre. Dans notre cadre d'analyse, si les partenaires ne sont pas aussi nombreux que dans les négociations sur les réductions des gaz à effet de serre, il n'en reste pas moins que le caractère stratégique de la ressource pour les Israéliens, et la volonté de l'expression d'une autonomie pour les Palestiniens, constituent des obstacles politiques forts. Ces obstacles sont capables de

¹⁷ En effet, les problèmes d'évaluation ainsi que les ruptures des conditions de second ordre constituent des obstacles à la détermination de politiques environnementales de premier rang. En réponse à ces obstacles, la littérature économique a développé des solutions de second rang aux propriétés intéressantes, mais sur lesquelles nous ne nous arrêterons pas. Nous renvoyons le lecteur à Cropper et Oates [1992], Goulder *et al.* [1999]. Par ailleurs, Hoel [1997] et Zang [1999] posent le problème de l'harmonisation des politiques environnementales dans le cadre des problèmes de la régulation des externalités transfrontalières.

paralyser les négociations et donc la coopération. Nous recherchons donc les solutions qui incitent à la coopération, en contournant ces obstacles.

Dans l'objectif d'obvier aux tensions politiques liées à la régulation par une fiscalité internationale, certains auteurs proposent une régulation par les quantités, autrement dit un marché de droit d'usage élargi à l'ensemble des Etats du Proche-Orient.

SECTION 2 : LES MARCHES DE DROITS

Dans un cadre international, où la solution fiscale nécessite l'harmonisation des taux, le contrôle de la mise en conformité aux prescriptions environnementales et un prix politique fort, l'absence d'autorité coercitive compromet les résultats escomptés. Un marché de droits apparaît comme une solution alternative pour la régulation des externalités. En théorie cette solution conduirait à une tarification correcte de la ressource.

La majeure partie de la littérature économique sur les marchés de droits s'attache aux marchés de droits portant sur la régulation des externalités environnementales. La première formalisation d'un tel marché est proposée par Montgomery [1972]. Depuis, plusieurs formalisations ont été proposées, notamment celle d'Henry [1990] qui expose clairement la problématique et l'enjeu de la régulation en termes d'efficacité et d'équité. Par ailleurs, les négociations sur les réductions de gaz à effets de serre ont également fait couler beaucoup d'encre dans la littérature économique. Il est possible de sérier cette littérature selon qu'elle repose, sur des modèles d'équilibre général appliqués [EPPA¹⁸ du laboratoire du MIT, MERGE de l'EPRI, le MRT du CRA], soit sur des modèles énergétiques [POLES¹⁹ de l'IEPE, NEMS de l'EIA, MARKAL de l'ECN]. Une seconde grille de lecture peut être celle de la taille ou de la configuration du marché : national, international, nord-sud, Europe-Etats-Unis. Les résultats, exprimés le plus souvent en "valeur de la tonne de carbone", divergent selon les modèles.

Les modèles de marchés de droits pour la gestion quantitative des ressources en eau sont rares, tout autant que les expériences de marchés d'eau ou de droits d'usage. L'OCDE [1999] recense les expériences de marchés de droits pour la gestion quantitative des ressources en eau aux Etats-Unis, en Australie et au Chili, tandis que la tradition européenne privilégie une régulation par les prix. Un seul exemple de marché d'eau existe en Espagne à Alicante. Quelques auteurs [Rosegrant et Binswanger 1994, Becker 1994, 1995, Zeitouni *et al.* 1994] évaluent à partir de modèles de simulation les effets attendus de la création d'un marché de droits d'usage. D'autres [Easter et Hearne 1994, 1997, Howitt

¹⁸ Le modèle EPPA, Emissions Prediction and Policy Analysis est un modèle dérivé du modèle GRENN, General Equilibrium Environmental model, développée par l'OCDE.

¹⁹ Le modèle POLES, Prospective Outlook on Long Term Energy Strategy, est un modèle énergétique sectoriel développé par l'IEPE.

1994] s'appuient sur des expériences de marchés existants pour évaluer l'efficacité de ceux-ci.

Après avoir apporté une précision sur la différence de vocabulaire entre droit et permis (2.1), nous illustrons par une formalisation simple le lien entre le régime de droit de propriété sur les ressources en eau et l'efficacité allocative de ces dernières aux usages les plus valorisant (2.2). La création d'un marché de droit résout le problème de l'inefficience du régime de droit coutumier, mais pose le problème de l'appropriation de la rente générée (2.3).

Nous illustrons également, par le modèle de Zeitouni *et al.* [1994], l'efficacité d'un marché international de droits d'usage de l'eau au Proche-Orient (2.4) et nous commentons les principales évaluations d'expériences de marché de droits nationaux (2.5). Nous émettons également certaines critiques quant à la pertinence en termes d'efficacité de ces évaluations. La difficulté de la détermination d'un critère d'équité pour l'allocation des ressources en eau internationales (2.6), principal enjeu dans notre contexte, nous amène à revoir notre problématique (conclusion) en transformant le problème de la gestion des externalités en un problème de partage des coûts du financement d'un bien public international (chapitre 3).

2.1 - L'émergence des instruments économiques pour la régulation des ressources environnementales

Le socle des politiques de l'environnement dans les pays industrialisés depuis 25 ans a été administratif et réglementaire, ce qui n'a pas été un facteur très favorable à l'essor d'une argumentation économique [Godard 1999 a].

La gestion des problèmes liés aux ressources environnementales a pendant longtemps été traitée par des outils législatifs tels que les normes, les quotas et la définition de règles de conduite. Bien que ce soit seulement par accident que les quotas ou normes produisent une solution efficace au problème des externalités [Pearce et Turner, 1990], ces instruments restent les instruments les plus utilisés. On relève dans la littérature trois raisons pour expliquer ce phénomène.

La première raison est d'ordre cognitif. Les instruments du marché (taxe ou marché de droits) focalisent l'attention sur les quantités de pollution et non sur les responsables de

la pollution. Les groupes de pression écologistes ont longtemps été hostiles aux mécanismes de décentralisation, interprétant les taxes et les droits négociables comme des droits à polluer, "*licenses to pollute*" [Stavins 1998]. Cette interprétation va à l'encontre de leur conception philosophique de l'environnement. Aujourd'hui encore, bien que les réticences à l'utilisation des mécanismes de marché se dissipent, il en demeure encore quelques-unes. Weitzman [1974] donne une explication à ce phénomène. Il écrit à ce propos : "*that a person not versed in economics should think primarily in terms of direct controls is probably due to the fact that he does not comprehend the full subtlety and strength of the invisible hand argument*".

La deuxième raison est immanente aux solutions de l'internalisation économique des externalités. En effet, celles-ci supposent une évaluation du coût marginal des dommages occasionnés par la pollution. Mieux appréhendées actuellement, la quantification et l'évaluation monétaire des conséquences écologiques et sanitaires, ne l'ont pas toujours correctement été. Les approches par les observations indirectes des comportements des agents, telle que la méthode de coûts de transports, ou la reconstitution d'une fonction de demande à partir des résultats d'une enquête sur les consentements à payer des agents, i.e. la méthode d'évaluation contingente, suscitent aujourd'hui un vif intérêt de la part des décideurs à la recherche de chiffres leur permettant d'étayer leurs décisions de protection de l'environnement [Godard 1999 a], même si elles restent sujettes à de nombreuses controverses.

La troisième raison tient en la croyance des organisations écologistes que les instruments de marché, une fois mis en place, échappent totalement à l'emprise du politique, et sont donc beaucoup moins maîtrisés que les normes et les règles. Par conséquent, si les permis ou les droits bénéficient du statut de droit de propriété au sens juridique du terme, le politique, dans ses tentatives de réduction du niveau de pollution attaché au droit, pourrait se trouver contraint de reverser des indemnités aux propriétaires de ces droits, réduisant ainsi sa marge de manœuvre. C'est d'ailleurs la raison qui a conduit à amender le "Clean Air Act" en 1990, premier marché de droits ambitieux pour la régulation des émissions de SO₂ responsables des pluies acides aux Etats Unis. Une précision a donc été apportée à la définition des permis négociables, en statuant que "*...that permits do not represent property rights.*" [Stavins, 1998]. En effet, d'un point de vue juridique, attribuer des droits de propriété sur une ressource environnementale, ou reconnaître de fait un droit d'usage sur une ressource, présente un risque. Le propriétaire du

dit droit pourrait, lors de la réduction de la quantité de pollution attachée à ce droit, réclamer une indemnité équivalente à la perte d'une partie de la valeur de ce droit consécutive à une décision politique.

2.2 - Régime de droits de propriété et efficacité allocative

La première étape vers un marché de droits est celle de la définition des dits droits, objet de l'échange. Traditionnellement, il existe deux régimes de droits appliqués aux ressources en eaux [Burness et Quirk 1979]. Les droits en copropriété, "*sharing rights*", et les "*droits appropriés*" (au sens où les agents se sont appropriés la ressource), "*appropriative rights*"²⁰. Ces régimes renvoient aux modes d'appropriation de la ressource. Il est dans le premier cas égalitaire, et dans le second, prioritaire, c'est-à-dire établi et maintenu par l'usage. Dans ce dernier cas, la hiérarchie des droits est fonction de la chronologie de l'appropriation, le premier arrivé étant le premier servi, "*first in use, first in right*", c'est la règle du "*grandfathering*"²¹. Les usagers du droit sont autorisés à détourner la ressource pour un "*usage bénéfique*", ("*beneficial use*"), mais sans pouvoir la négocier. Ainsi, lorsque le volume d'eau disponible est limité, les propriétaires seniors reçoivent la totalité de leur allocation avant les juniors. Formellement, ce régime de droits prioritaires s'écrit :

$$a_j = W_i - \sum_{k=1, j-1} A_k$$

$i \in I$ est un état de la nature,

W_i est la quantité d'eau disponible en l'état i de la nature ; ces quantités sont classées dans l'ordre $W_i > W_{i+1}$,

$j \in J$ désigne le propriétaire du droit prioritaire. Les propriétaires sont classés dans un ordre hiérarchique ("*seniority*") de telle sorte que j est prioritaire sur $j+1$.

a_j est la quantité d'eau attribuée à l'agent j , une fois les seniors A_k servis.

²⁰ Historiquement, il existe aussi un droit du riverain, où tout propriétaire du dit droit use de la ressource sans réduire la consommation des autres agents. Il s'agit là d'un droit usufruitier sur un bien collectif, particulièrement adapté aux consommations non rivaless de la ressource. Baignade, pêche, voie de communication...

²¹ Il faut cependant bien avoir à l'esprit la nuance entre le grandfathering et le droit prioritaire, bien que dans les deux cas, les résultats en terme d'efficacité sont identiques. Le grandfathering est un droit prioritaire mais la réciproque n'est pas toujours vérifiée, au sens où, la priorité peut, lors d'une allocation initiale des droits, être accordée selon un autre critère que celui de la chronologie d'accès à la ressource.

Ce régime de droits se traduit dans les faits par le phénomène connu dans le vocabulaire anglais sous le terme du "*queuing*". Ces systèmes, établis de la sorte pour des raisons historiques, ont fonctionné sans poser de difficultés majeures pendant les périodes d'abondance de la ressource. Mais l'accroissement de la rareté a conduit à se poser la question de l'efficacité allocative des ressources en eau. En effet, parce que le droit prioritaire avantage les premiers arrivés, les *seniors*, ce régime est incapable d'assurer une allocation pareto-optimale de la ressource, et ceci pour deux raisons.

La première est liée au partage inégal du risque entre les générations qui s'approprient la ressource [Burness et Quirk, 1979], les seniors encourant un risque inférieur à celui des juniors. Dans leur conclusion, les auteurs statuent que "*In the absence of competitive market for the purchase and sale of water rights, the appropriative doctrine²² leads to an inefficient use of water. Inefficiency arises under the appropriative doctrine because of the unequal sharing of risks among users of a water way ; senior appropriators bears less risk than junior appropriators.*"

La deuxième cause d'inefficience, corollaire à la première, est immanente au régime de droit lui-même. Dans la mesure où le droit à une quantité de la ressource est assujéti à la condition d'un usage la *valorisant (beneficial consumptive use)*, les agents économiques sont enclins à se prémunir contre une réduction de leur quantité allouée par l'appropriation d'un volume d'eau supérieur à leur besoin réel. Lorsque deux firmes identiques maximisent l'espérance de leur profit, la firme Senior tend à s'approprier une quantité d'eau supérieure que la firme Junior²³, comme le montrent formellement Burness et Quirk [1979].

Le régime des droits de propriété exerce donc une influence sur l'efficacité allocative de la ressource. Ainsi, dans le cas particulier où une ressource en eau est consommée par des firmes ayant les mêmes fonctions de production, l'efficacité allocative requiert un partage égalitaire des risques et donc une allocation égalitaire de la ressource. Un partage égalitaire attribuerait une quantité W_i / J unités de la ressource à chaque usager, et ce, quelle que soit la quantité d'eau disponible.

Toutefois, quel que soit le régime de droit de propriété, le combiner à un système de marché, garanti l'allocation efficace des ressources en eau. Zilberman [1999], en reprenant le cadre du modèle de Burness et Quirk [1979], analyse les implications en

²² Par appropriative rights, les auteurs entendent le droit prioritaire.

²³ "*Given two expected profit-maximising firms with identical separable profit functions, the firm with senior rights claims a larger quantity of water (...) than does a firm with junior rights.*" [Burness et Quirk, 1979].

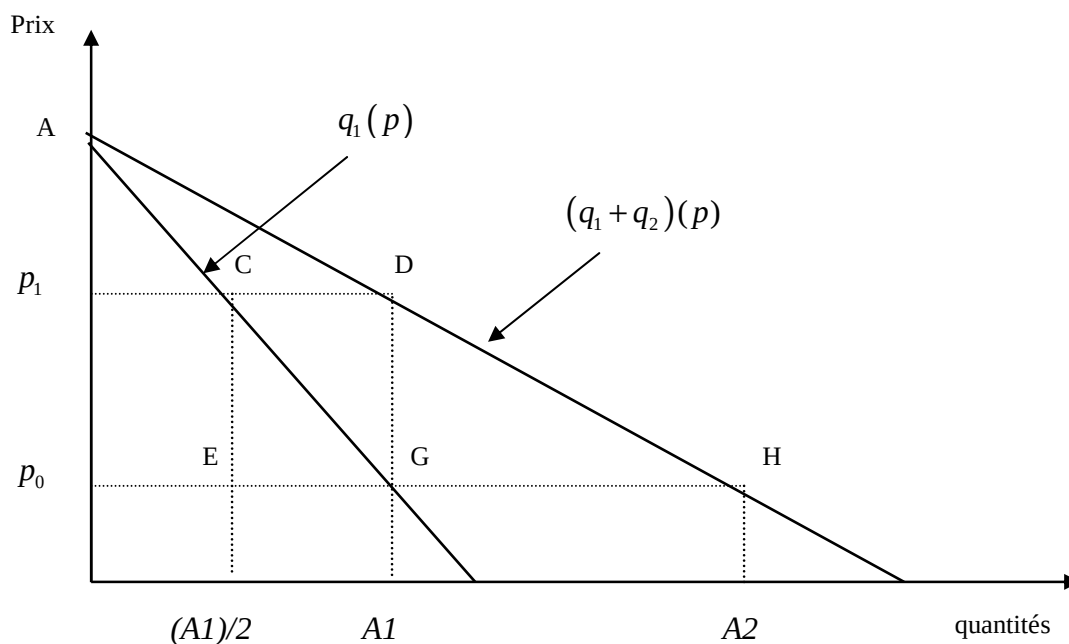
termes de bien-être collectif, du passage du "*queuing*" à une allocation des ressources par le marché.

Nous illustrons par un graphique (2.7) les gains en bien-être collectif du passage du *grandfathering* au marché de droits.

Soit deux usagers d'une même source d'eau, avec $i=1$ l'usager senior, et $i=2$ le junior, et soit $q_i(\cdot)$ la demande de chacun des consommateurs 1 et 2. Si p est le coût de production d'une unité d'eau, on définit alors par $q_1(p) + q_2(p)$ la demande agrégée des deux consommateurs.

Supposons qu'il n'y ait que deux états de la nature. Un état qualifié de sec, la ressource en eau est limitée et le volume d'eau disponible est de $A1$ (figure 2.7). Ce volume est tout juste suffisant pour satisfaire la demande de l'agent senior 1 au prix $p = p_0$, $q_1(p_0) = A1$. L'autre état de la nature est défini comme un état humide. Il est caractérisé par un volume d'eau disponible $A2$, pouvant satisfaire la demande agrégée des deux consommateurs. Le schéma suivant illustre l'accroissement de bien-être collectif consécutif à l'instauration d'un marché de droit.

Figure 2.7: Du *grandfathering* au marché de droits



Si q_i^j est la quantité d'eau consommée par l'individu i en l'état j de la nature, comme le montre le graphique 2.7 ci-dessus, en l'état sec $j = s$, c'est-à-dire lorsque l'offre est limitée à la quantité $A1$, la totalité du volume d'eau q_1^s est allouée à l'agent prioritaire Senior 1. Par conséquent, $q_1^s = A1$ et $q_2^s = 0$. Dans ce cas, le surplus des consommateurs est représenté par l'aire du triangle $A p_o G$.

En l'état humide de la nature $j = h$, la quantité d'eau disponible est de $A2$ et le coût de production reste égal à p_o . Cette quantité est suffisante pour répondre aux demandes des deux consommateurs. Dans ce cas, on a $q_1^h = q_2^h = A1 = (A2/2)$, et le surplus des consommateurs est égal à $A p_o H$.

Dans ce dernier cas, c'est-à-dire lorsque la quantité de ressource est disponible en abondance, en l'absence de coût de transaction, l'introduction d'un marché de droits n'a aucune incidence sur le bien être collectif. Le prix d'équilibre sur le marché s'établirait au niveau de p_o , et le surplus collectif reste identique.

En revanche, en période d'étiage ($A1$), la création d'un marché de l'eau fait passer le prix de l'eau de p_o à p_1 . Senior est alors incité par cette hausse du prix à arbitrer entre l'utilisation de la ressource qu'il possède comme input à sa production, et la vente d'une partie de celle-ci sur le marché au prix de p_1 . A l'équilibre du marché, chacun des deux agents consommerait un volume d'eau égal, $(A1)/2$, et le surplus collectif est alors accru de la valeur triangle AGD correspondant à la rente de la rareté de la ressource. Par conséquent, le passage du "queuing" à un système de marché de droits conduirait à une allocation pareto-optimale de la ressource.

2.3 - Les conséquences redistributives du marché : la question de l'appropriation de la rente

Le schéma précédent permet de mettre en exergue les aspects redistributifs et donc les considérations politiques qui peuvent entraver la création d'un marché de droits.

Dans un contexte de déficit de l'offre par rapport à la demande, en l'absence de marché et avec un coût de production de l'eau égal à p_o , le surplus de l'agent Senior est représenté

par la surface Ap_0G . L'instauration d'un marché de droits ferait passer le prix de l'eau à p_1 . Le surplus collectif se trouve dès lors accru de la valeur de AGD.

Lorsque l'allocation initiale de droits se fait au grandfathering, le Senior conserve le surplus initial de la valeur de Ap_0G , et il s'approprie une partie de la rente de rareté mesurée par la surface CGD, l'autre partie mesurée par la surface ACD revient à l'acheteur. Lorsque le régulateur s'approprie la propriété de la ressource environnementale, le surplus de Senior se réduit à la surface mesurée par Ap_1C , tandis que le régulateur perçoit le surplus mesuré par p_0p_1DG . Dans ce cas, ce sont les Seniors qui portent la charge de la création d'un marché de droits.

Cette illustration permet d'éclairer les difficultés politiques qui peuvent survenir lors de la création d'un marché de droits. Elle soulève le problème de la capitalisation des revenus issus d'une reconnaissance de fait d'un droit sur un bien environnemental qui, jusqu'avant la création du marché, ne faisait que l'objet d'un usufruit.

La question de l'équité, inhérente à l'appropriation des ressources en eau, ou plus généralement des ressources environnementales, se pose soit *ex-ante* au moment de l'allocation initiale des droits de propriété, soit *ex-post* au moment de la redistribution de la rente qu'elle génère lorsque le régulateur décide de s'approprier la ressource. Quel que soit le régime de droit de propriété adopté, la question posée à l'économiste n'est plus alors celle de l'efficacité mais celle de l'équité.

Avant de nous intéresser au problème de l'équité dans le paragraphe 2.6, nous discutons dans le paragraphe (2.4) une application de quelques scénarii de marchés de droits au Proche-Orient.

2.4 - Les formalisations de marchés de droits d'usage

Le problème de l'allocation des ressources en eau entre Israéliens et Palestiniens a fait l'objet d'un certain nombre de propositions formalisées [Zeitouni *et al.* 1994, Yaron 1994, Berk et Lipow, 1994, Becker 1994] et non formalisées de marché de droits [Fichelson 1994, Howitt 1994]. Les propositions non formalisées s'appuient sur les résultats des expériences nationales. Nous discuterons celles-ci au paragraphe 2.4.2. Nous nous intéressons d'abord aux propositions formalisées et principalement à celle de Zeitouni

et al. [1994] qui illustrent leurs propositions par une application aux ressources en eau au Proche-Orient.

2.4.1 - Le modèle de Zeitouni et al.[1994] .

Les auteurs proposent deux scénarii de marché international de l'eau, et une application au cas du Proche-Orient. Le mécanisme de marché est une vente aux enchères. Deux alternatives de vente aux enchères sont étudiées. La première porte sur les quantités d'eau dont les agents sont propriétaires. Dans le second mécanisme, les enchères portent sur un ordre de priorité dans une file d'attente. Les Etats acheteurs font des offres d'achat d'eau à chaque source. Ces offres sont classées par importance dans un ordre de priorité. La priorité porte sur l'exercice d'une option d'achat. Les demandes sont ensuite satisfaites (au prorata de l'importance de l'offre) dans l'ordre de priorité en fonction des disponibilités liées aux variations climatiques. Les résultats obtenus par les deux mécanismes sont comparés à l'allocation pareto-optimale de référence obtenue par un régulateur omniscient et bienveillant.

2.4.1.1 - L'allocation centralisée : un benchmark

Les auteurs supposent réglée auparavant la question de l'allocation initiale des droits de propriété sur les ressources dans le cadre d'un accord préalable. Une institution commune est chargée de la gestion globale des réserves existantes pour le compte des propriétaires. L'institution commune va déterminer les quantités d'eau allouées et le prix d'équilibre qui maximisent le surplus collectif des consommateurs et des producteurs, net du coût de transport.

Deux autres hypothèses sont également posées.

H 1 : Chaque entité possède assez d'eau pour subvenir à ses besoins vitaux.

H 2 : Les réseaux de distribution d'eau existent déjà et, par conséquent, seuls les coûts variables sont pris en compte.

Il existe N sources d'eau, dont la somme constitue l'offre totale à l'échelle régionale, et M demandes potentielles.

Soient,

- q_{ij} , la quantité d'eau provenant de la source j offerte à l'agent i,
- q_{*j} , la quantité d'eau offerte par la source j, avec $q_{*j} = \sum_i q_{ij}$, $i = 1...M$,

- q_{i*} , la quantité d'eau consommée par l'agent i , autrement dit la demande satisfaite

$$q_{i*} = \sum_j q_{ij},$$

- $\hat{q}_j$, la quantité de ressource disponible à la source j . Les $\hat{q}_j$ sont des variables stochastiques indépendantes dont les espérances mathématiques $E(\hat{q}_j)$ sont connues.

- $c_{ij}(q)$ représente le coût de transport de q unités d'eau, de la source j au consommateur i . Ce coût est supposé payé par le consommateur et la fonction est croissante et convexe.

- $D_i(q)$ est la fonction de demande inverse du consommateur i , et

- $S_j(q)$, la fonction d'offre inverse de la source j .

Le régulateur va déterminer pour chaque période les quantités qui vont faire l'objet de transferts de chaque source j à chaque consommateur i . Neutre vis-à-vis du risque²⁴, il va optimiser sa fonction-objectif en déterminant, pour chaque occurrence d'offre disponible, c'est-à-dire pour chaque état de la nature, l'allocation des ressources aux différentes demandes.

Pour un état donné de la nature, la fonction-objectif du régulateur qui maximise le surplus collectif régional, net des coûts de transport, est la suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_{\{q_{ij}\}} \sum_i \left(\int_0^{q_{i*}} D_i(q) dq - \sum_j c_{ij}(q_{ij}) \right) - \sum_j \left(\int_0^{q_{*j}} S_j(q) dq \right) \\ \text{s.c.} \quad q_{*j} \leq \hat{q}_j \quad \forall j \\ \quad \quad q_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \end{array} \right.$$

Les conditions de premier ordre sont :

$$\left(D_i(q_{i*}) - \frac{\partial c_{ij}}{\partial q_{ij}} \right) - S_j(q_{*j}) - \lambda_j = 0 \quad \forall i, j \quad (2.9)$$

$$\lambda_j (\hat{q}_j - q_{*j}) = 0, \quad \lambda_j \geq 0 \quad \forall j \quad (2.10)$$

Lorsque les quantités d'eau disponibles ne sont pas restrictives, l'indicateur de rareté est nul, $\lambda_j = 0$. Les réserves disponibles à la source j sont supérieures aux quantités offertes par la source, en d'autres termes, $\hat{q}_j > q_{*j}$. La disposition de l'agent i à payer la quantité

²⁴ Une hypothèse discutable en raison des enjeux autour de la ressource au niveau régional. En effet, la question de la "food security" et même de la sécurité des approvisionnements en eau pour l'Etat d'Israël, est comme nous l'avons évoqué précédemment, une question éminemment politique qui relève du domaine militaire. La neutralité du risque de chaque pays eu égard aux approvisionnements en eau est donc une hypothèse forte.

d'eau q_{i*} est dans ce cas égale à la somme du coût marginal d'extraction de l'eau à la source j et du coût marginal du transport de la quantité q_{ij} de la source j au consommateur i .

En revanche, lorsque les quantités disponibles sont limitées, de telle sorte que $q_{*j} = \hat{q}_j$, la totalité de la demande ne peut être satisfaite, il y a donc un déficit de l'offre par rapport à la demande et $\lambda_j > 0$. Le prix de la ressource est alors égal à la somme du coût marginal d'extraction, du coût marginal de transport, auquel il faudra rajouter le prix de la rente de rareté λ_j . Formellement, le prix de l'eau est dans ce cas égal à :

$$\frac{\partial c_{ij}}{\partial q_{ij}} + S_j(q_{*j}) + \lambda_j. \quad (2.11)$$

Les auteurs écartent la solution de la gestion centralisée, en raison des difficultés politiques qui rendraient l'institution internationale fragile et complaisante. Qui plus est, le régulateur se comporte de façon neutre au risque alors que les deux Etats sont averses au risque.

Les droits de propriété étant définis l'échange de ces droits sur un marché devrait en théorie permettre une allocation efficace des ressources disponibles [Eheart et Lyon 1983, Howe *et al.* 1986, Saliba 1987, Burness et Quirk 1979]. Toutefois, compte tenu du faible nombre de participants à un marché régional de l'eau, l'émergence d'un prix concurrentiel peut être compromise. L'option choisie par les auteurs est celle de la vente aux enchères, sous plis scellés, des droits de propriété sur l'eau.

Deux cas de figure sont envisagés. La première alternative est la vente directe des droits d'eau ou, plus précisément, d'une partie (un pourcentage) des quantités d'eau attachés à ces droits. La seconde alternative est la vente d'une priorité (position dans une file d'attente) pour exercer une option d'achat sur des quantités aléatoires disponibles.

Les hypothèses posées au modèle sont les suivantes :

1. Les Etats s'engagent à vendre leurs droits sur un marché (sur la base de contrats annuels ou pluriannuels) à tous les usagers sans distinction de nationalité.

2. Le marché est transparent, les acheteurs ont une connaissance parfaite des disponibilités en eau des différentes sources²⁵.
3. Les acheteurs d'eau ne forment pas de coalition.

2.4.1.2 - Le marché de droits sur les pourcentages

Une part, ou un pourcentage d'une quantité d'eau aléatoire attachée à un droit, est un contrat qui donne à son signataire le droit et l'obligation d'acheter un pourcentage d'une quantité d'eau mise sur le marché. Le comportement rationnel d'un Etat acheteur i est le suivant : il fait une proposition (une offre) sur une option d'achat pour une part α_{ij} d'une quantité d'eau indéterminée $\hat{q}_j$ offerte par la source j . Les auteurs montrent que l'équilibre sur le marché s'établit à un niveau tel que chaque demandeur reçoit une quantité d'eau proportionnelle à son offre à chaque source.

Soit i un agent qui souhaite acheter une quantité α_{ij} d'un volume d'eau inconnu $\hat{q}_j$. b_{ij} représente le montant de la proposition faite par i pour l'achat d'une quantité aléatoire $\alpha_{ij}\hat{q}_j$. La proposition b_{ij} est le résultat du calcul d'optimisation du bien-être collectif de l'utilisation de l'eau, net des coûts de transport et du prix d'achat. La fonction-objectif est la suivante :

$$E_{(q_j)} \left(\sum_j^{(\alpha_{ij}q_j)} \int_0^{\alpha_{ij}q_j} D_i(q) dq - \sum_j c_{ij}(\alpha_{ij}q_j) - \sum_j b_{ij} \right) \quad i = 1 \dots M \quad (2.12)$$

Sous la contrainte de :

$$\alpha_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_k b_{kj}}, \quad (2.13)$$

c'est-à-dire que chaque demandeur reçoit une part α_{ij} égale à la proportion de son offre sur l'ensemble des offres adressées à la source j , $\frac{b_{ij}}{\sum_k b_{kj}}$.

Les conditions de premier ordre sont :

$$E_{(q_j)} \left[\left(D_i \left(\sum_j \alpha_{ij} \hat{q}_j \right) - c'_{ij}(\alpha_{ij} \hat{q}_j) \right) \left(\frac{\partial \alpha_{ij}}{\partial b_{ij}} \right) - 1 \right] = 0 \quad (2.14)$$

²⁵ Les auteurs admettent, non sans ironie, que cette hypothèse est forte puisqu'ils la qualifie d'héroïque.

La résolution de ce programme²⁶ permet de déterminer pour chaque Etat, l'enchère sur le

pourcentage marginal de la source j $\left(\frac{1}{\frac{\partial \alpha_{ij}}{\partial b_{ij}}} \right)$, qui est égal à l'espérance du bénéfice

marginal de l'utilisation de l'eau [Zeitouni *et al.* 1994].

Ce processus d'enchères conduit à un équilibre de Nash entre les Etats demandeurs tel qu'aucun Etat ne modifie son offre étant donnée celles des autres.

2.4.1.3 - Un marché sur la priorité d'exercice d'option d'achat

Les Etats font des offres d'enchères pour figurer dans une file d'attente qui leur donne une priorité dans l'exercice d'une option d'achat sur une quantité d'eau aléatoire de la source j . Les propositions d'achat sont classées dans un ordre de priorité en fonction de leur importance. Les Etats ayant fait les offres les plus élevées sont prioritaires pour exercer leurs options d'achat.

La proposition faite par un Etat i lui donne une priorité de niveau k , c'est-à-dire la $k^{\text{ème}}$ place dans une file d'attente de consommateurs potentiels. La quantité d'eau que l'Etat i pourra acheter dépend de la disponibilité en eau à la source j et du nombre d'acheteur prioritaire à i .

Si $\hat{q}_j \leq \sum_{l=1}^{k-1} q_{lj}$, alors l'Etat i , à la $k^{\text{ème}}$ place dans la file d'attente, ne peut pas exercer son option d'achat puisque les quantités d'eau disponibles à la source j sont insuffisantes.

Si $\hat{q}_j \geq \sum_{l=1}^k q_{lj}$, alors l'Etat peut exercer son droit de priorité sur les quantités restantes

$$\hat{q}_j - \sum_{l=1}^{k-1} q_{lj}.$$

Les auteurs montrent que le montant qu'un agent i est disposé à payer pour la $k^{\text{ème}}$ place à la source j sera proportionnel au stock d'eau disponible pour le $k^{\text{ème}}$ consommateur de la source j

Dans la file d'attente, la fonction-objectif de chaque Etat correspond à l'espérance du bien-être collectif, net du coût de transport et du prix payé. Le programme s'écrit :

²⁶ On remplace l'équation (2.13) dans (2.12) et on dérive par rapport à a_{ij} .

$$\max_{q_{ij}, d_{imj}} E_{(q_j)} \left(\int_0^{q_j^*} D_i(q) dq - \sum_j c_{ij}(q_{ij}) - \sum_j b_{ij} \left(\hat{q}_j - \sum_m d_{imj} q_{mj} \right) \right) \quad i = 1 \dots M,$$

sous les contraintes

$$d_{ij} = 0$$

$$d_{imj} + d_{mij} = 1$$
(2.15)

$b_{ij}(\cdot)$ est la fonction d'enchère que l'Etat i adresse à la $j^{\text{ème}}$ source.

d_{imj} est une variable binaire qui prend la valeur de 1 si le consommateur m est prioritaire à i dans la file d'attente à la source j , et 0 dans le cas inverse.

Le programme (2.15) est résolu pour chaque offre b_{imj} , et l'équilibre correspond à une place pour chaque agent dans la file d'attente. Cet équilibre suppose que les agents ont tous la même rationalité et partagent les mêmes informations quant à la distribution des quantités d'eau. Le vendeur classe les offres dans une file d'attente et par ordre d'importance de telle sorte qu'il maximise ses bénéfices. Agissant de façon indépendante, la maximisation de l'espérance des bénéfices par les agents correspond à la meilleure des stratégies.

2.4.2 - Une application des trois scénarii au Proche-Orient

Ces trois schémas d'allocation sont appliqués à des données provenant des pays du Proche-Orient. Reprenant le scénario de Kally [1986], les auteurs considèrent quatre sources potentielles d'offre d'eau : le Nil (1300 mm³), Israël (1500 mm³), la Cisjordanie (110 mm³) et Gaza (70 mm³). Les régions consommatrices d'eau sont les suivantes : Israël, le Néguev (sud israélien), la Cisjordanie et Gaza. La demande de chaque région a deux composantes. Une composante fixe représentant la consommation urbaine. Elle est égale au produit de la consommation par habitant par le nombre d'habitants. La seconde composante correspond à la demande en eau d'irrigation. Cette dernière est calée sur des modèles de production agricole, faute de données disponibles et fiables sur les consommations en eau d'irrigation.

La fonction de coût correspond à une estimation du coût de transport et du coût de détournement des eaux du Nil. Elle comprend le coût de fonctionnement et le coût du capital²⁷.

Pour chacun des mécanismes, les auteurs comparent deux configurations de marchés. La première configuration que nous appellerons marché restreint, est limitée à l'échange entre les entités israéliennes (Israël et Néguev) et palestiniennes (Gaza et Cisjordanie). La seconde configuration, le marché élargi, tient compte des apports supplémentaires d'eau du Nil en provenance de l'Egypte.

Le tableau 2.1 suivant décrit l'allocation centralisée pareto-optimale des ressources entre les quatre régions du Néguev, d'Israël, de la Cisjordanie et de Gaza, sans tenir compte des eaux du Nil.

Tableau 2.1 : L'allocation optimale des ressources entre Israël et la Palestine sur le marché restreint (en Mm³)

Transferts ↓	Israël	Cisjordanie	Gaza	Consommation totale	Bien-être (en millions de \$)
Offre totale	1500	110	70	1680	2070
Prix dual (\$/m ³)	0.29	0.46	0.46		
Israël	742	0	0	742	1145
Néguev	427	14	0	441	371
Cisjordanie	132	96	0	228	225
Gaza	200	0	70	270	329

Zeitouni et al. [1994]

L'offre totale provenant d'Israël (1500mm³) est répartie en 742 mm³ consommées par Israël, 427 mm³ sont destinés à la région du Néguev, 132 mm³ à la Cisjordanie et 200 mm³ à Gaza. Le prix de ces ressources (0.29 \$/m³) est relativement faible par rapport aux autres sources de la Cisjordanie (0.46 \$/m³) et de Gaza (0.46 \$/m³). Ce prix dual, conformément à l'écriture de l'équation (2.11) reflète le coût d'opportunité (extraction transport et rareté) de l'eau. Une partie des ressources de la Cisjordanie (110 mm³) se retrouve au Néguev (14 mm³), et la région de Gaza consomme la totalité de ses ressources (70 mm³).

²⁷ La fonction de coût a la forme suivante : $C_{ij} = c_{ij}q_{ij}^3$ [d'après Mozenon 1986, mimeo ministère des finances israélien].

Le bien-être collectif à l'échelle de l'ensemble des régions est de 2070 millions de dollars. En outre, le prix de 0.46 \$/m³ fournit une indication quant au développement de nouvelles sources d'approvisionnement. Il constitue en effet une borne supérieure pour tout investissement destiné à accroître l'offre. Une tarification au coût marginal supérieure à 0.46 \$/m³ serait économiquement injustifiée.

Le tableau suivant 2.2 introduit une offre supplémentaire en provenance du Nil. L'Egypte, dans ce modèle, fournit de l'eau mais n'en consomme pas.

Tableau 2.2 : L'allocation pareto-optimale entre Israël et la Palestine sur le marché élargi (en Mm³)

Transferts ↓	Israël	Cisjordanie	Gaza	Nil	Consommation totale	Bien-être (en millions de \$)
Offre totale	1500	110	70	1300	2980	2316
Prix dual (\$/m³)	0.15	0.3	0.3	0.17		
Israël	738	0	0	457	1195	1239
Négev	398	0	0	445	843	457
Cisjordanie	177	110	0	147	434	253
Gaza	257	0	70	251	508	367

Source Zeitouni et al. [1994]

L'apport de 1300 mm³ des eaux du Nil conduit à une diminution du prix de l'eau dans l'ensemble des quatre régions représentant la demande. Le bien-être régional est accru de 11.8 % puisqu'il passe de 2070 millions de dollars à 2316 millions de dollars. Ces accroissements du bien-être sont profitables aux Israéliens et Palestiniens dans les mêmes proportions, respectivement +11.8% et +11.9%. Ces deux scénarii constituent la situation de référence.

Evaluation des deux mécanismes d'enchères

L'efficacité de ces deux mécanismes est comparée à l'aune de la différence entre les bénéfices en termes de bien-être obtenus par les marchés et les bénéfices de l'allocation parétienne centralisée.

Les allocations résultant de ces deux mécanismes sont résumées dans les quatre tableaux 2.3, 2.4, 2.5 et 2.6 suivants, avec et sans les apports du Nil.

Les enchères sur les pourcentages

Les enchères sur les pourcentages dans le cas d'un marché restreint donnent les résultats suivants (tableau 2.3) .

Tableau 2.3 : Enchères au pourcentage sur le marché restreint (en Mm³)

<i>Transferts</i>	<i>Israël</i>		<i>Cisjordanie</i>	<i>Gaza</i>	<i>Consommation totale</i>	<i>Bien-être (en millions de \$)</i>
<i>Offre totale</i>	1500	100%	110	70	1680	1906
<i>Israël</i>	679	45%	0	0	679	1073
<i>Néguev</i>	403	27%	0	0	403	342
<i>Cisjordanie</i>	188	13%	110	0	298	194
<i>Gaza</i>	230	15%	0	70	300	297

D'après Zeitouni et al.[1994]

Les réserves d'eau des régions de la Cisjordanie et de Gaza sont absorbées localement, à des fins domestiques. Celles appartenant à Israël, par rapport à l'allocation centralisée (tableau 2.1), sont réparties de telle sorte que les consommations israéliennes, y compris celle du Néguev, diminuent de 28%. Elles sont vendues au profit de la consommation cisjordanienne et de celle de Gaza. Israël ne consomme plus que 1082 mm³ sur les 1500 mm³ que l'Etat possède, c'est-à-dire 93 % de l'allocation pareto-optimale. Cette réduction de sa consommation se traduit par une diminution de 6% de son bien être. Les consommations de la Cisjordanie sont, dans ce scénario, plus importantes puisqu'elles augmentent de 32% par rapport à la consommation pareto-optimale. Celles de Gaza augmentent également de 11%. Cette répartition des ressources se traduit, sur l'ensemble la zone, par une perte de bénéfice de 164 millions de dollars, se répartissant respectivement entre : -6.6% pour Israël (Néguev compris) et -11% pour les Palestiniens (Gaza et Cisjordanie).

Le tableau 2.4 suivant décrit l'allocation des ressources aux enchères sur les pourcentages avec l'offre supplémentaire provenant des eaux du Nil.

Tableau 2.4 : Enchères au pourcentage sur le marché élargi (en Mm³)

<i>Transferts</i>	<i>Israël</i>		<i>Cis-jordanie</i>	<i>Gaza</i>	<i>Nil</i>	<i>Consommation totale</i>	<i>Bien-être (en millions de \$)</i>
<i>Offre totale</i>	1500	%	110	70	1300	2980	2184
<i>Israël</i>	688	46	0	0	454	1138	1189
<i>Néguev</i>	391	26	0	0	502	893	419
<i>Cisjordanie</i>	207	14	110	0	128	444	234
<i>Gaza</i>	214	14	0	70	216	500	342

D'après Zeitouni et al. [1994]

Par rapport au scénario précédent, les apports des eaux du Nil contribuent à un accroissement des bénéfices sur l'ensemble de la zone. Le bien-être total de l'ensemble des Etats (2184 millions de dollars) représente 89.8% de l'allocation parétienne (tableau 2.2). On notera également que cette forme d'allocation procure au Néguev une quantité d'eau en provenance du Nil plus importante que celle de l'allocation optimale, 502 au lieu de 434. En contrepartie, Israël vend plus d'eau à la région de la Cisjordanie qui lui est proche, 207 au lieu de 177, et moins à la région de Gaza plus distante, 214 au lieu de 257.

Les enchères sur les priorités dans la file d'attente

Les allocations aux enchères des priorités, avec et sans les apports du Nil, sont résumées dans les tableaux 2.5 et 2.6 suivants.

Tableau 2.5 : L'allocation des priorités aux enchères sur le marché élargi (en Mm³)

<i>Transferts</i>	<i>Israël</i>		<i>Cisjordanie</i>		<i>Gaza</i>		<i>Consommation totale</i>	<i>Bien-être (en millions de \$)</i>
<i>Offre totale</i>	1500	<i>file</i>	110	<i>file</i>	70	<i>file</i>	1680	1704
<i>Israël</i>	885	1	0	2	0	3	885	945
<i>Néguev</i>	483	2	0	4	0	4	483	296
<i>Cisjordanie</i>	2	4	110	1	0	2	112	178
<i>Gaza</i>	131	3	0	3	70	1	131	285

D'après Zeitouni et al. [1994]

Dans le premier cas de figure, Israël et le Néguev sont les premiers dans la file d'attente aux sources israéliennes, suivi dans l'ordre de Gaza et de la Cisjordanie. Les seuls échanges que l'on peut observer, sont les ventes d'Israël à Gaza, 131mm³. Les Etats ont tendance à consommer leurs propres ressources en eau. Le bénéfice régional de 1704

millions de dollars représentant 82% de l'allocation parétienne est inférieur à l'allocation par les enchères de droits.

En incorporant les eaux du Nil, les ordres de priorités se modifient (tableau 2.6). Israël reste en tête de la file d'attente, et la Cisjordanie devient prioritaire sur le Néguev pour ce qui est de la vente des ressources israéliennes. En revanche, dans la file d'attente des eaux du Nil, Gaza et le Néguev, à proximité des sources égyptiennes, sont prioritaires et exercent respectivement leurs options d'achat sur 611 mm³ et 513 mm³. Ces allocations sont supérieures à celles du précédent mécanisme d'enchères (216 mm³ et 502 mm³). En termes d'efficacité, ce schéma d'allocation est moins performant que le précédent, puisqu'il réduit le bien-être de l'ensemble des régions à 84 % de l'allocation de référence, contre 89.8% pour le mécanisme des enchères sur les pourcentages

Tableau 2.6 : Allocation par enchères des priorités sur le marché des priorités (Mm³)

Transferts	Israël		Cisjordanie		Gaza		Nil		Consom- mation totale	Bien-être (en millions de \$)
<i>Offre totale</i>	1500	<i>file</i>	110	<i>file</i>	70	<i>file</i>	1300	<i>file</i>	2980	1954
<i>Israël</i>	896	1	0	2	0	2	246	3	1142	1052
<i>Néguev</i>	284	3	0	3	0	3	513	2	797	360
<i>Cisjordanie</i>	321	2	110	1	0	4	0	4	431	216
<i>Gaza</i>	0	4	0	4	70	1	541	1	611	326

D'après Zeitouni et al. [1994]

2.4.3 - Une proposition sans issue

Nous nous appuyons sur ces résultats pour apporter un éclairage, différent de celui des auteurs, soulignant l'impasse à laquelle conduit une telle proposition de marché aux enchères, si l'on suppose la contrainte de la participation volontaire des Etats.

Rappelons que nous avons posé comme hypothèse l'existence d'Etats entièrement autonomes et indépendants. On supposera que chaque Etat prendra sa décision en maximisant l'utilité collective nationale, c'est-à-dire l'utilité collective de la région Israël et du Néguev pour l'Etat d'Israël et l'utilité collective des régions de la Cisjordanie et de Gaza pour l'Etat palestinien. Il est possible de présenter les résultats de Zeitouni *et al.* [1994] en mettant en exergue la différence de bien-être collectif de leurs scénarii.

Nous appellerons respectivement scénario S1, S2, S3, S4, S5 et S6 les résultats des tableaux 2.1 à 2.6.

Tableau 2.7 : Comparaison de l'efficacité des différents scénarii du modèle de Zeitouni *et al.* [1994] (en millions de dollars)

<i>Etat</i>	<i>S 1</i>	<i>S 2</i>	<i>S 3</i>	<i>S 4</i>	<i>S 5</i>	<i>S 6</i>
<i>Israël</i>	1516	1696	1415	1608	1241	1412
<i>Palestine</i>	554	620	491	576	463	542
<i>Egypte</i>				103		170

Source : l'auteur

Si l'on accepte les justifications des auteurs portant sur l'absence d'autorité supranationale et éliminant la solution de la gestion centralisée à l'échelle du bassin versant, la rationalité des Etats les conduiraient à établir l'ordre de priorité suivant, par la sélection du scénario.

Tableau 2.8 : Ordre de priorité dans le choix du mécanisme d'allocation

<i>Etat</i>	<i>S 1</i>	<i>S 2</i>	<i>S 3</i>	<i>S 4</i>	<i>S 5</i>	<i>S 6</i>
<i>Israël</i>	1516	1696	2	1	4	3
<i>Palestine</i>	554	620	3	1	4	2
<i>Egypte</i>				2		1

Source : l'auteur

Les deux Etats israélien et palestinien devraient unanimement choisir le scénario S4, c'est-à-dire celui des enchères sur les pourcentages avec un apport extérieur des eaux du Nil. Mais dans ce cas, l'Egypte a le choix également de participer aux deux mécanismes S4 et S6. Le premier lui procure 103 millions de dollars de la vente aux enchères de ses eaux, alors que le second mécanisme lui rapporte 176 millions de dollars [Zeitouni *et al.* 1994]. La préférence de l'Egypte va pour le mécanisme S6. Si l'Egypte refuse de s'engager dans le mécanisme S4, Israël préférerait s'engager dans le scénario d'échange S3, c'est-à-dire en se passant de la participation de l'Egypte au marché, tandis que la Palestine opterait pour le scénario S6. Par conséquent, l'élimination progressive des différents scénarii, sur la base de la participation volontaire des Etats, conduirait à la sélection de la solution la moins efficace S5. Nous nous retrouvons dans le cas d'un dilemme de prisonnier, des solutions alternatives existent, à condition d'envisager le partage des gains de la coopération.

2.5 - Les expériences nationales de marchés de droit d'usage de l'eau

2.5.1 - L'expérience du Chili

Le Chili est l'unique pays en développement qui encourage l'utilisation des marchés de droits comme moyen de gestion des ressources en eau. En 1981 la loi sur l'eau a jalonné le système de marché de droits d'usage actuellement en vigueur.

Easter et Hearne [1997] évaluent les gains réalisés des marchés de droits d'usage d'eau de quatre cours d'eau chilien - le Maipo, l'Elqui, le Limari et l'Azapa - sur la période qui s'étend de 1986 à 1993. Les auteurs montrent que les transferts de droits d'usage de la ressource sur le marché conduisent à des gains économiques. On observe bien un transfert de l'eau vers les usages les plus valorisants (production agricole à haut rendement et consommation domestique) sur le marché de Limari. Acheteurs et vendeurs de droits tirent une rente des échanges sur le marché, conformément au schéma décrit dans la figure 2.7. La rente des acheteurs, qu'ils soient acheteurs ruraux (production agricole à fort rendement) ou urbains (consommation domestique), est supérieure à celle des vendeurs. En revanche les résultats généraux sur les trois autres marchés restent plus que modestes. Les transactions sont rares et les gains économiques des ré-allocations sont limités.

Les principales limites aux transactions sont constituées par :

1. les coûts prohibitifs de maîtrise des débits des cours d'eau ayant pour objectif de régulariser les transferts [OCDE 1999], ces coûts rendant le coût marginal du transfert de l'eau trop élevé,
2. les coûts de transactions composés de : (i) le coût de modification des infrastructures physiques pour la mesure et le transport de l'eau ; (ii) la recherche des éventuels vendeurs et acheteurs et la rédaction des contrats ; (iii) le coût de la reconnaissance légale des droits d'usage sur les ressources, de leur mise en conformité et de leur régulation.

L'indépendance des associations des usagers de l'eau (Water User Associations, WUA), chargée de faciliter les transactions et donc de veiller à la fluidité du marché est également soulignée par les auteurs.

Quoi qu'il en soit, les modestes bénéfices économiques retirés de ces marchés, particulièrement celui de Limari, doivent être rapprochés des investissements publics dans les réseaux d'adduction d'eau et de construction de réservoirs de stockage. Les auteurs

concluent leur étude en notant : *"This research has demonstrated the economic and financial gains from using markets to reallocate water in the Elqui Valley,(...), it also showed how public investments in water-storage and delivery systems in the Limari Valley have the external benefit of reducing the transactions costs involved in market trading"* [Easter et Hearne 1997 p.198].

L'efficacité économique des marchés de droits est donc, dans ce cas précis, assujettie à la prise en charge par le secteur public des coûts de transactions (principalement les coûts d'infrastructure). Il n'est donc pas possible de mesurer et de conclure à l'efficacité du marché sans tenir compte du coût des investissements publics dans l'évaluation de l'expérience chilienne.

2.5.2 - L'expérience californienne

Entre 1987 et 1992, l'Etat de la Californie doit faire face à une sévère période de sécheresse qui divise par deux les volumes d'eau traditionnellement disponibles. Les autorités y répondent en créant en 1991 un marché de droits organisé autour d'une banque de l'eau. Les droits d'usage ont été rachetés aux agriculteurs²⁸ (1025 millions de m³) par la banque, et mis en vente aux secteurs publics et privés [Howitt 1994].

Les enseignements que l'on peut tirer de cette expérience sont les suivants. La demande d'eau agricole est très élastique. Les volumes d'eau échangés sont relativement faibles par rapport aux consommations de l'ensemble de l'Etat. Le prix de rachat de l'eau aux agriculteurs (100\$/1000 m³) et les échanges qui ont suivi se sont traduits par un accroissement de la valeur de l'eau sur l'ensemble de la région (140\$/1000 m³).

Les bénéfices à l'échelle de l'Etat sont résumés dans le tableau suivant :

²⁸ Les agriculteurs n'avaient légalement pas de droit sur l'eau. En leur reversant une indemnité, ceci revenait à leur reconnaître *de facto* un droit de propriété sur la ressource en eau. Cette expérience californienne montre à quel point, il est politiquement difficile de pratiquer autre chose que le système du grandfathering pour l'allocation initiale des droits de propriété.

Tableau 2.9 : Bénéfice du marché de l'eau californien (en million de dollars, sur l'ensemble de l'Etat)

<u>Régions exportatrices</u>	Millions de dollars
Manque à gagner dans le secteur agricole	-76.02
Revenus des ventes des droits	63.27
Perte de revenu des régions exportatrices -12.75	
<u>Régions importatrices</u>	
Gain de la production agricole	45.40
Surplus des consommateurs urbains	58.57
Bénéfice pour les régions importatrices 104.17	
<u>Bénéfices nets</u>	
Bénéfice agricole	-32.65
Bénéfice à l'échelle de l'Etat	91.42
Valeur du surplus de l'eau	14.40
Bénéfice net 105.82	

D'après Howitt [1994]

Si le bénéfice net sur l'ensemble de l'Etat de Californie est positif, 105.82 millions de dollars, les résultats sont différents selon que l'on considère les régions exportatrices d'eau ou les régions importatrices. L'auteur évalue la perte de revenu pour les régions exportatrices à 12.75 millions de dollars, et le gain de revenu pour les régions importatrices à 104.17 millions de dollars. Comment expliquer le résultat négatif des régions exportatrices ? Les agriculteurs de ces régions n'auraient jamais vendu leurs droits d'usage sur l'eau à un prix inférieur à la valeur marginale de la production agricole. La différence de revenus entre les deux premières lignes du tableau 2.9 résulte du manque à gagner pour les fournisseurs de matières premières aux agriculteurs.

Les ressources en eau ont été ré-allouées aux usages les plus valorisants, c'est-à-dire à la production agricole à haut rendement (22% des quantités d'eau échangées) et à la consommation urbaine (industrielle et domestique).

Notons également que le marché de l'eau a également eu un impact sur l'emploi. Une perte d'emploi pour les régions exportatrices (-1648), mais largement compensé par la création de postes dans les régions importatrices (+4236).

Cette expérience californienne appelle toutefois deux remarques. D'une part, les impacts économiques ont été évalués à très court terme²⁹. Par conséquent, il n'était pas encore possible de mesurer les effets à moyen et long terme de la création de la banque de l'eau. En outre, il n'existe pas d'évaluation des impacts du marché sur les tiers qui ne sont pas directement les consommateurs de l'eau (*third party impacts*).

D'autre part l'autorisation faite aux agriculteurs de revendre sur un marché des quantités d'eau auxquelles ils n'avaient légalement aucun droit hormis le droit d'usufruit constitue une reconnaissance de fait d'un droit de propriété selon le régime du *grandfathering*. Il suffirait alors que le développement de l'agriculture soit aidé par le passé pour assimiler ces droits de propriété à des subventions capitalisées par les usufruitiers. Cette expérience met également en exergue l'importance des capacités de stockage, élément nécessaire à la banque de l'eau [OCDE 1999].

2.5.3 - L'expérience australienne

Ne disposant pas d'évaluation de l'expérience australienne, nous nous limiterons tout simplement à sa description

L'Australie est une fédération de six Etats et de deux territoires. Chaque Etat ou territoire est responsable des cours d'eau à l'intérieur de sa juridiction, mais le gouvernement fédéral peut influencer considérablement les politiques nationales.

Signé en 1917 pour la première fois, l'accord du Murray River est un accord entre le gouvernement fédéral et les Etats de la Nouvelle-Galles du sud, de Victoria et le territoire de l'Australie du sud. L'objet de l'accord est la régulation du cours d'eau, le Murray, pour la navigation et l'irrigation. En 1983, il est amendé pour y inclure les usages récréatifs et environnementaux. En 1995, les limites géographiques de la commission du Murray River sont étendues pour une gestion des ressources en eau à l'échelle de l'ensemble du bassin versant. La nouvelle commission de bassin Murray-Darling s'élargit au gouvernement de l'Etat du Queensland. Cet accord prévoit le partage des ressources en eau entre les différents Etats et territoires.

²⁹ L'évaluation des impacts de la création de la banque de l'eau a eu lieu en 1992, alors qu'elle n'a commencé à fonctionner qu'en 1991 et que les acheteurs et vendeurs ont commencé à ajuster leurs stratégies à partir de 1992.

Tableau 2.9 : Répartition des ressources en eau du Murray-Darling

Etats et Territoires	Diversión en pourcentage
New South Wales	57
Australian Capital Territory	1
Queensland	2
Victoria	34
South Australia	5

Source : The Australian Academy of Technological Sciences and Engineering,
 [http://www.atse.org.au/publications/focus/focus-schwwot.htm, 1997]

La commission n'a pas la propriété des ressources en eau, elle ne fait qu'agir pour le compte de leurs propriétaires que sont les Etats et territoires. Elle est en revanche responsable de la qualité des ressources mais pas de l'usage qui en fait. Certains Etats sont déficitaires, d'autres sont excédentaires, justifiant la création d'un marché.

Les premiers transferts d'eau temporaires ont été autorisés en 1987 à une échelle locale. La révision de la législation en 1994 a permis les transferts permanents et élargi la zone géographique des changes. L'accès au marché est dans un premier temps restreint aux usages agricoles. La demande était bien plus importante que l'offre, dans la proportion de 6 pour 1. Le volume des échanges est très sensible à la variation du prix. A 45 dollars australiens, 500 milles litres d'eau sont échangés. Lorsque le prix atteint un pic à 67 dollars australiens, le volume des échanges double. Toutefois ces volumes échangés restent très faibles.

2.5.4 - Des résultats mitigés

2.5.4.1 - Des évaluations incomplètes

Conformément au théorème de Coase, un marché de droits n'est efficace qu'à la condition que les coûts de transaction soient modestes. Or, la caractéristique stochastique de l'offre des ressources en eau (aléas climatiques) nécessite des investissements de grande ampleur, tels que les barrages et les réservoirs de stockage, permettant d'atténuer les irrégularités des débits des cours d'eau et de répondre à la dynamique de la demande, forte pendant les périodes d'étiage et faible pendant les périodes d'abondance. L'expérience Californienne met en lumière la nécessité et l'importance de capacités de stockage significatives comme instrument spécifique à la banque de l'eau. L'expérience chilienne

insiste également sur le maillage du réseau de distribution comme principal handicap au développement des échanges entre les offreurs et les acheteurs d'eau. En Australie, bien avant l'autorisation d'échange des ressources en eau entre les Etats, le débit du Murray-Darling avait été maîtrisé par la construction d'un barrage. La stabilité de l'offre d'eau est une condition nécessaire pour la mise en place d'un marché de droit d'usage.

Traditionnellement, ces investissements coûteux sont pris en charge par le secteur public, même lorsque les autorités politiques ont fait le choix d'une régulation par un marché de droits [Dinar *et al.* 1997]. En Californie par exemple, les réservoirs de stockage existaient avant la création de la banque de l'eau et au Chili c'est l'Etat qui a pris en charge les investissements des réseaux d'adduction et de distribution.

Or, la particularité des études citées ci-dessus, est qu'elles sont biaisées par la non prise en considération de ces investissements publics dans l'évaluation de l'efficacité des marchés de droits d'usage sur l'eau. Si effectivement les marchés de droits d'usage permettent l'émergence de la valeur réelle de l'eau et conduisent à une allocation des ressources aux usages les plus valorisants, le bilan en termes de bien-être collectif doit être nuancé. Les modestes gains enregistrés au Chili et en Californie sont à relativiser et doivent être rapprochés du coût des investissements, indispensables à la fluidité des transactions et par-là même au bon fonctionnement du marché, qui sont pris en charge par les secteurs publics des différents Pays. Cette prise en charge par le public de la plus importante part des coûts de transactions rend incomplètes les évaluations effectuées à posteriori par les auteurs.

Dans notre cadre d'analyse, les nappes souterraines sont utilisées comme réservoirs de stockage souterrains, et le lac de Tibériade est le principal réservoir de stockage superficiel. L'on pourrait penser que ces capacités de stockage existent déjà, et qu'il n'y a pas lieu de se lancer dans des investissements lourds. Mais ces capacités de stockage sont insuffisantes et ne permettraient pas de répondre aux écarts importants entre la demande en été et la demande en l'hiver [FFEM 1994]. En outre, étant donné le déficit structurel de l'offre et la pression croissante sur la demande, le recours à de nouvelles sources d'approvisionnement hors du bassin versant du Jourdain (dessalement ou achat à d'autres pays) nécessitera des investissements lourds. Si ces investissements sont pris en charge par le privé, il faudra tenir compte d'un taux de retour sur investissement. S'ils sont pris en

charge par les secteurs publics des différentes entités politiques, se pose alors le problème de partage du coût.

2.5.4.2 - Des difficultés politiques non évaluées

Ces expériences ont toutes lieu au sein d'un même pays. Les aspects politiques de la création des marchés sont ignorés. A juste titre peut-être puisque, même si les transferts s'effectuent entre des juridictions différentes, il existe toujours une autorité nationale ou locale capable de trancher en cas de litige, ou de procéder à des compensations non volontaires.

Mais telles qu'elles sont relatées, ces différentes expériences tendent à faire penser que le marché constitue une solution idéale au problème de la gestion des ressources en eau. Par le simple jeu de la *main invisible* on parviendrait à l'efficacité de l'allocation des ressources. Il faut cependant noter l'intervention du gouvernement fédéral Australien sur le marché pour empêcher la réalisation de certaines transactions, qui auraient risqué de modifier irrémédiablement l'environnement. Il faut également faire remarquer qu'en Californie, au Chili, et même pour les marchés de droits à polluer tel que celui de l'EPA aux Etats-Unis, c'est pour des raisons politiques que le mode de l'allocation initiale des droits de propriétés retenu est celui du grandfathering. Le prix de rachat de l'eau aux agriculteurs californiens a été imposé par le gouverneur de l'Etat. Le rôle d'un régulateur aux pouvoirs coercitifs permet donc de résoudre les problèmes politiques liés à l'implémentation des marchés de droits.

Notre contexte est caractérisé par l'absence d'une telle autorité coercitive. Aucun accord et aucune décision ne peuvent donc être imposés à l'une ou l'autre des parties. Les seuls engagements que l'on peut attendre, et donc les seuls résultats que l'on peut escompter, ne peuvent être obtenus que sur la base du volontariat. Seule la définition d'un critère d'équité, accepté par les différentes parties prenantes à la négociation, soit pour le partage initial des droits de propriété, soit pour le partage de la rente de l'utilisation des ressources environnementales, peut inciter à la participation volontaire des deux entités politiques.

2.6 - L'équité dans le partage des ressources

2.6.1 - L'équité aux différents étages

A l'échelle internationale, la gestion des ressources naturelles pose le problème de l'équité à plusieurs niveaux, ou, pour reprendre la terminologie de Kolm [1986], à "*plusieurs étages*"³⁰. Ainsi, dans le cadre de la négociation internationale sur les réductions des émissions de gaz à effets de serre, le thème de l'équité est abordé, non seulement au moment de la répartition des contributions des efforts de chaque pays à la réduction des émissions [Godard et Henry 1998, Godard 1999 a, Blanchard *et al.* 2000, Rose et Stevens 1993], mais aussi lors de l'allocation des droits entre les membres d'une même communauté, i.e. entre les entreprises nationales émettrices [Bernstein *et al.* 1999, Congress of the United States 2000, Zang 1999]. Aux divers étages, les procédures d'allocations des droits peuvent être différentes. Nous situons notre analyse à l'échelle supérieure, c'est-à-dire à celle du partage des ressources naturelles entre deux Etats.

La réflexion classique de l'équité se place dans un cadre national, avec des dispositifs institutionnels et une autorité politique minimale permettant de mettre en œuvre une conception unifiée de la justice. A l'échelle internationale, les données du problème sont différentes, et ceci, en raison de l'absence d'autorité supranationale susceptible d'imposer une loi ou une décision, une fois celle-ci adoptée. Même lorsque des règles sont négociées et adoptées au niveau international, la mise en conformité ne dépendra que de la plus ou moins bonne volonté des Etats, chaque Etat n'étant mu que par son propre intérêt. En l'absence de cadre juridique supranational et contraignant, les pays ont donc la possibilité de se soustraire à ces règles, s'ils estiment que ces dernières ne leur conviennent pas.

Comment dans ce cadre parvenir à un accord juste pour le partage d'une ressource à l'échelle internationale ?

Est-il possible de parvenir, dans le cadre d'une négociation internationale, à une règle de répartition unanime des ressources environnementales susceptible de remporter l'adhésion de l'ensemble des Etats ?

³⁰ "Un trait important de l'allocation des droits aux ressources naturelles est qu'elle se fait souvent en plusieurs étages, entre groupes sociaux et au sein de ceux-ci..." Kolm, 1986.

Autrement, quelle règle faudrait-il adopter pour aboutir à une coopération indispensable à la gestion de ressources naturelles partagées ?

Pour tenter de répondre à ces questions, nous nous pencherons sur les négociations internationales portant sur les réductions des émissions de gaz à effets de serre. Ces négociations fournissent une expérimentation sur la manière dont le thème de l'équité est pris en compte dans les rapports internationaux. A la différence de notre cadre analyse, il faut toutefois avoir à l'esprit que ces dernières se déploient dans une perspective qui écarte l'usage de la force, et que le nombre des partenaires est plus important.

2.6.2 - Le changement climatique : l'équité, une expérimentation grandeur nature

Dans la convention cadre sur le changement climatique, les objectifs de réduction des émissions de gaz à effets de serre ont, dans un premier temps, été différenciés sur la base d'un axe Nord-Sud. La question de la répartition des efforts (*burden sharing*) ou de partage des coûts de la réduction des émissions, en d'autres termes la recherche d'une certaine équité dans la détermination des objectifs de réduction, est posée dès les premiers articles. Les pays de l'annexe I (les pays de l'OCDE et les économies en transition) s'engageaient à stabiliser, à l'horizon 2000, leurs émissions au niveau de 1990. Les pays hors annexe I (les pays en développement) ne prenaient aucun engagement. A la fin de l'année 1997 à Kyoto, au cours de la troisième "conférence des parties", à la première différenciation Nord-Sud est venu s'ajouter une seconde, au sein des pays de l'annexe B (pays de l'annexe I de la convention cadre signataires du protocole de Kyoto), pour atteindre un objectif quantitatif global de réduction des émissions de 5 % entre 2008 et 2010 par rapport à 1990.

Même si pour les pays en développement aucun engagement n'a été pris, la question de leur adhésion à la convention cadre reste pertinente, dans la mesure où leurs émissions sont appelées à croître dans les prochaines décennies. Ces émissions devraient représenter plus de 50 % des émissions mondiales en 2010 [modèle POLES, Blanchard *et al.* 2000]). La question de la différenciation des objectifs de réduction des émissions est posée, et la différenciation elle-même est l'élément structurant de la convention cadre et du protocole de Kyoto. Sachant que les pays en développement refuseraient de s'engager dans des objectifs contraignants à un horizon 2010 trop proche, engagement qui limiterait leur

développement, comment parvenir à une règle de différenciation juste ou acceptable par ces derniers ? La différenciation des objectifs quantitatifs par pays pose la question de l'équité dans le partage de la charge des réductions des émissions.

Les négociations sur les réductions des émissions de gaz à effet de serre placent les Etats dans une situation délicate : celle de la définition de règles communes, des droits et des obligations de chacun dans l'accès à la ressource. Dans ces négociations, les critères et les règles de répartition équitables des efforts, proposés par les différents pays, sont nombreux. Ces critères peuvent être classés en deux catégories. Les critères de différenciation basés sur les volumes des émissions, et les critères basés sur les coûts de réduction des émissions. Nous analysons les trois critères qui se distinguent par leur niveau de généralité et nous discutons de la pertinence de leur emploi pour la gestion des ressources en eau internationales. Ces trois critères relevés par Godard [1999 a] sont les suivants : la réduction des émissions au prorata du nombre d'habitants de chaque pays, la réduction des émissions au prorata du produit intérieur brut et la réduction des émissions par rapport au niveau des émissions annuelles à une date de référence.

2.6.2.1 - La répartition au prorata du nombre d'habitants.

La répartition des quotas d'émissions aux prorata du nombre d'habitants est le critère fréquemment revendiqué par les pays en développement, invoquant le principe d'égalité fondamentale de toutes les personnes, celle de l'égalité de tous les citoyens quant à leur dotation en ressource atmosphère. Dans le contexte climatique, il consisterait à accorder les mêmes droits à chaque individu en matière d'utilisation de l'atmosphère. Une répartition des quotas d'émissions au prorata du nombre de la population serait juste et conforme au principe d'égalité des droits. Or, cette répartition égalitaire des ressources naturelles serait sans précédent, si l'on considère l'exemple des ressources pétrolières, charbonnières ou minières³¹. Les seuls cas de répartition des droits sur un principe d'égalité se rapportent aux droits fondamentaux attachés à la qualité même de la personne humaine, avec les droits civils d'un côté et les droits politiques de l'autre.

³¹ L'analogie peut être faite dans la mesure où les conséquences de l'effet de serre ne sont pas identiques sur toute la planète. Le réchauffement d'un degré de la température terrestre ne produit pas les mêmes dégâts selon que l'on habite l'Afrique sub-saharienne ou le nord de l'Europe. Ceci peut être interprété comme une localisation géographique non homogène de la ressource atmosphère, certains pays en disposant plus que d'autres.

C'est le cas dans la théorie Rawlsienne de la justice où les libertés fondamentales ne peuvent être refusées à personne, quel que soit le sexe ou l'origine ethnique. Chaque individu dispose d'un droit de vote égal.

Le critère en question est difficilement réfutable en raison de la violence que peuvent ressentir les partenaires à la négociation quant à un refus de la reconnaissance de l'égalité d'un droit fondamental. Toutefois, son application, forcément élargie au cadre inter-temporel³², soulève des difficultés liées d'une part, à la définition de l'horizon³³ générationnel pour le partage du "gâteau" atmosphère et, d'autre part, à l'incertitude quant à l'évolution de la population mondiale. En outre, il subsiste une grande incertitude et de grandes controverses scientifiques quant aux conséquences de l'effet de serre sur les dommages causés à l'environnement. Le principe de précaution en est l'illustration puisqu'il recommande qu'en *"l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable"*³⁴. Pour pallier ces difficultés, la répartition des droits peut être calée sur un scénario quelconque. Si par précaution, le scénario du pire était adopté, cela reviendrait, d'un point de vue éthique, *"à dénier la reconnaissance de la responsabilité des générations successives à la procréation"* [Godard 1999 a].

Par ailleurs, alors que la légitimité du critère de la répartition égalitaire de la ressource atmosphère peut être justifiée, la possibilité d'échange des quotas d'émissions, transformant le problème de l'équité des droits d'usage de l'atmosphère en un problème d'équité dans la répartition de la richesse marchande, change la nature du problème. Si le bien atmosphère doit être considéré comme un bien appartenant aux libertés fondamentales à protéger, au sens des *"biens premiers"* Rawlsien, il est alors incompatible avec l'idée d'échange puisque *"on ne peut vendre que ce qui est détachable de l'identité des titulaires, et n'est pas essentiel à leur dignité d'êtres humains"* [Godard 1999 a].

³² Nous sommes bien dans le cadre d'une problématique de copropriété d'un milieu naturel (l'atmosphère) qui énonce que deux générations ont un droit égal à l'existence d'un milieu naturel ; l'une ne peut exproprier l'autre qu'à la condition de lui assurer une compensation spécifique, qui serait acceptée dans une transaction volontaire [Henry, 1990].

³³ La durée de vie du CO₂ dans l'atmosphère est d'une centaine d'année, mais il n'y a pas consensus scientifique à ce propos, en outre, ce n'est pas le seul gaz à effet de serre.

³⁴ En droit français, c'est la loi 95-101 de renforcement de la protection de l'environnement.

2.6.2.2 - La répartition au prorata du PIB

Le critère de la répartition au prorata du PIB peut être interprété de deux façons. Soit la répartition est proportionnelle au PIB, et en l'occurrence la règle fait référence au droit coutumier reconnu et maintenu par l'usage, le *grandfathering*, soit la répartition est inversement proportionnelle au PIB, comme le revendiquent les Etats du sud eu égard à la responsabilité des pays développés dans la dégradation de l'atmosphère. Dans ce dernier cas, on considère que le PIB est le bruit de fond de l'activité économique et la logique est celle de la responsabilité de la dégradation des ressources. Encore faudrait-il s'entendre sur l'étendue des responsabilités dans la détérioration de climat, compte tenu des facteurs physiques, démographiques, climatiques, énergétiques et économiques. Ce critère a été remis en cause par les Etats-Unis, parce qu'il leur était défavorable par rapport aux pays européens.

2.6.2.3 - Une répartition au prorata des émissions d'une année de référence

La répartition des quotas au prorata des émissions d'une année de référence revient à appliquer le droit coutumier acquis par un usage répété, au bénéfice de l'utilisateur et de ses ayants droits, le *grandfathering*. Si la prise en considération des usages actuels de la ressource dans la détermination des nouveaux droits est logique, c'est-à-dire que les émissions futures doivent être déterminées en fonction des émissions observables, la référence aux droits acquis a été reprise à l'envers par certains pays (Koweït, Nigeria) qui ont demandé l'adoption d'une clause de compensation pour toute perte de revenu d'exportation de produits énergétiques consécutive aux politiques de prévention de risque climatique.

2.6.3 - Les critères de partage des ressources en eau internationales : la souveraineté

Les deux derniers critères qui préconisent l'application de la règle du droit coutumier et qui consistent à attribuer les ressources, soit au prorata du PIB (critère 2), soit au prorata d'une année de référence (critère 3) sont incompatibles avec la situation conflictuelle et l'histoire qui caractérise le Proche-Orient.

Ce dernier critère poserait le problème de la détermination de la date de référence. Si la date de référence est celle des usages actuels, la répartition des droits serait beaucoup

trop avantageuse pour l'Etat israélien qui en possède l'exclusivité d'exploitation acquise par l'usage de la force. Cette situation est en outre reconnue par les deux parties comme étant inique et insoutenable. La référence à une date antérieure reste tout de même problématique dans cette région chargée d'histoire. Intuitivement, il nous semble que ce serait la date de 1967 qui constituerait la référence, puisque les négociations actuelles sur le partage des territoires font référence à cette date.

Une répartition inversement proportionnelle au PIB, utilisée dans une logique de responsabilité, serait certainement remise en cause par les Israéliens pour deux raisons. La justification de la responsabilité d'un Etat dans la réduction des ressources existantes, comme elle l'est dans les négociations sur le climat, est forcément biaisée par les différentes interprétations de l'histoire du conflit. En outre, elle pourrait être interprétée comme l'aveu de la responsabilité de l'Etat hébreu dans la situation actuelle des Palestiniens³⁵. Si la justification était celle de la solidarité, c'est-à-dire eu égard à la capacité contributive d'un Etat, elle correspondrait à un effort de solidarité beaucoup trop important compte tenu du différentiel de revenu entre les deux Etats.

Quant au premier critère, la répartition des droits au prorata du nombre d'habitant, la justification d'un droit inaliénable ne peut valoir que pour les consommations domestiques. Or les trois quarts des ressources sont à destination de l'agriculture, et la problématique est donc celle de la répartition d'une richesse marchande.

S'agissant du partage des ressources en eau internationales, les Etats sont plus enclins à invoquer le droit international plutôt que l'équité dans le partage des ressources. Mais cette référence reste une référence de pure forme puisqu'il n'existe pas en droit international de règle de répartition universellement admise par les usagers des cours d'eau internationaux. La commission du droit international³⁶ se contente d'édicter des règles de

³⁵ Quoique des évolutions sont perceptibles. Le dernier texte proposé en 2000 quelques jours avant la fin du mandat d'Ehud Barak, par les Israéliens aux Palestiniens, portant sur la situation des réfugiés palestiniens, reconnaissait la responsabilité de l'Etat Hébreu dans le drame des réfugiés palestiniens. Voir à ce propos, Gresh *"La paix manquée au Proche-Orient"*, Le Monde Diplomatique, octobre 2001.

³⁶ Les Nations Unies ont délégué la codification des lois sur les eaux internationales à la Commission du Droit International qui, après plusieurs délibérations, émet en 1991 une série de recommandations pour la gestion et la protection des bassins fluviaux internationaux. Ces recommandations sont la promulgation des règles d'Helsinki de 1966, parfois contradictoires et souvent laissées au libre arbitre des Etats. L'article 6 en est une illustration.

"Article 6 : L'utilisation d'une manière équitable et raisonnable d'un cours d'eau international implique la prise en considération de tous les facteurs et circonstance pertinentes, notamment :

- *les facteurs naturels tels que les conditions écologiques, climatiques et hydrologiques ;*
- *les besoins socio-économiques des Etats du cours d'eau concerné ;*

bonne conduite sous forme de recommandations et de suggérer les facteurs pouvant être pris en compte par les Etats. Elles n'ont cependant aucun caractère obligatoire. En outre, ces règles illustrent l'incapacité de la commission à imposer une quelconque loi transnationale. Loin d'être le fruit d'une réflexion sur l'équité, ces règles sont le résultat des négociations qui font suite à de longs conflits entre les pays riverains amont d'un cours d'eau international, se réclamant de la doctrine de la *souveraineté territoriale absolue*, et les pays riverains aval réclamant l'*intégrité territoriale absolue* pour demander la non-altération des flux provenant de l'amont. Ces deux doctrines radicalement opposées ont conduit à des échanges diplomatiques jusqu'à ce que la communauté internationale, la commission du droit international aboutisse au consensus de "*souveraineté territoriale limitée*". Par conséquent, plus que la question de l'équité, c'est la référence à la souveraineté qui domine les négociations sur la répartition des eaux douces internationales.

Moore [1994], reprenant la définition des Nations Unis d'un partage équitable des ressources en eau internationales (voir article 6 en note de bas de page), propose d'agréger les différents critères récurrents dans les revendications des Etats.

Ces critères font référence :

- à la géographie ; c'est-à-dire au prorata de la localisation géographique sur le territoire nationale de la nappe souterraine et/ou du réservoir naturel, la zone de stockage (ZS), et au prorata de la zone de recharge de la nappe (ZR), c'est-à-dire le territoire sur lequel les infiltrations de pluies ont lieu ;
- aux besoins, au prorata des besoins domestiques (BD), des besoins industriels (BI) et des besoins agricoles (BA) ;
- aux usages actuels (UA).

Prenant l'exemple du conflit Israélo-palestinien, les trois aquifères concernés offrent un total de 500 mm³ (pour illustration). La répartition de ces ressources selon les critères retenus par Moore [1994] figure dans le tableau 2.10 suivant :

- les effets de l'utilisation ou des utilisations du cours d'eau sur d'autres Etats du cours d'eau ;
 - la conservation, la protection, la mise en valeur et l'économie dans l'utilisation des ressources en eau du cours d'eau et les coûts des mesures prises à cet effet ;
 - et l'existence d'autres options, de valeur correspondante, par rapport à une utilisation particulière actuelle ou envisagée." [Nations Unis, 1991].

Tableau 2.10 : Répartition des ressources en eau communes entre Israël et Palestinien
(en millions de mètres cubes)

Répartition Ressources (mm ³)	Zone Recharge (ZR)	Zone Stockage (ZS)	Besoins Domestiques (BD)	Besoins Industriels (BI)	Besoins Agriculteurs (BA)	Usages Présents (UP)
Israélienne	25	398	331	440	428	455
Palestinienne	475	102	169	60	72	45

Source : Moore [1994]

L'ensemble des allocations possibles est défini par :

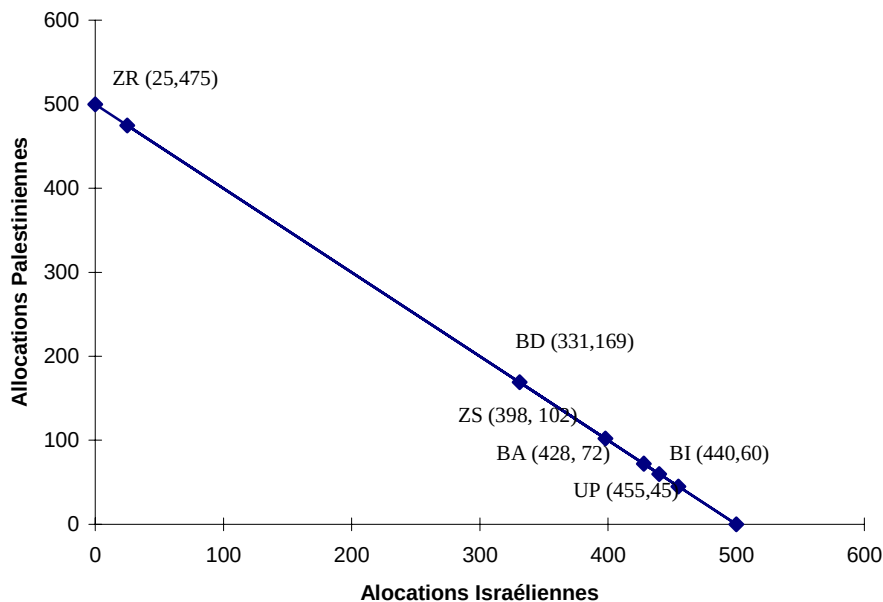
$$A = \{A_1(0,500), A_2(1,499), A_3(2,498), \dots, A_{500}(499,1), A_{501}(500,0)\}.$$

L'allocation $A_1(0,500)$ alloue zéro mm³ à l'Etat israélien, et 500 mm³ à l'Etat palestinien.

Une allocation selon le critère de la zone de stockage (ZS) de la nappe et du réservoir superficiel attribue 398 mm³ aux israéliens et 102 mm³ aux palestiniens, et ainsi de suite.

La représentation graphique des allocations selon chacun des critères retenus illustre les divergences d'intérêt entre les deux parties.

Figure 2.8 : Allocation des ressources selon les critères de la commission internationale



Si l'auteur ne retient que ces six facteurs, il précise en revanche que la liste peut être élargie à d'autres critères *ad hoc*. Afin de réconcilier ces différents critères, il suggère d'identifier l'allocation, ou l'ensemble des allocations les "*moins mauvaises*" (*least worst*) sans pour autant être des allocations équitables. Ces allocations sont celles qui minimisent la somme du carré des écarts entre les différentes allocations figurant dans le tableau 2.10, c'est-à-dire :

$$\sum \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$

x est la part de l'allocation attribuée à l'Etat d'Israël,

y est la part de l'allocation attribuée à l'Etat Palestine,

x_i est la part de l'allocation attribuée à l'Etat d'Israël par le $i^{\text{ème}}$ facteur, et

y_i est la part de l'allocation attribuée à l'Etat de la Palestine par le $i^{\text{ème}}$ facteur, pour $i = 1, \dots, 6$

Le résultat de ce programme est un espace de 31 points situés entre ZS(398,102) et BA(428,72). Ce segment de la droite des allocations réalisables constitue l'espace de négociation.

Il apparaît donc impossible de déterminer ou même de s'accorder sur un principe éthique, ou sur un critère empirique, de différenciation ou de partage unanimement accepté. Les principes éthiques sont soit plus ambivalents et ambiguës qu'ils ne paraissent, c'est le cas par exemple de "*la conception libérale de l'égalité des chances conçue à partir de la propriété de soi-même et donc de sa force de travail, incapable de justifier légitimement l'appropriation des ressources naturelles*" [Kolm, 1986], soit ils restent à l'état d'"*objets conceptuels inutilisables*", ne permettant d'aboutir ni à une norme et encore moins à une référence positive pouvant constituer un repère simple d'action, et *c'est le cas du procédé imaginaire de "voile d'ignorance" de J.Rawls, mais dont on voit mal d'un point de vue positif, sans avoir la prétention de remettre en cause le concept, comment on pourrait adopter une démarche de ce genre*" [Godard 1999].

CONCLUSION

L'efficacité

Toutes les solutions au problème de la gestion des ressources en eau au Proche-Orient passent par la mise en place d'une institution commune chargée, à l'échelle du bassin versant du Jourdain, de la gestion de l'ensemble des ressources. Si l'on opte pour une régulation par les quantités, cette institution pourrait prendre la forme d'une banque de l'eau telle que celle mise en place en Californie pour faire face à un problème de sécheresse dans les années 1990. Cette dernière a racheté les droits de l'eau aux agriculteurs pour les revendre aux municipalités qui les ont destinés aux usages urbains (domestiques et industriels). Si en revanche on opte pour une régulation par les prix, l'institution commune prendra plutôt la forme d'une agence de bassin à l'instar des agences de l'eau en France.

Quel que soit l'instrument de régulation retenu, la solution au problème des externalités passe par une meilleure tarification de la ressource. En théorie les deux modes de régulation, s'ils sont bien définis, à savoir un marché de droits bien fluide ou une taxe bien dimensionnée, sont équivalents. L'efficacité est garantie par une meilleure tarification. Mais les instruments dégagent une rente de rareté qui, selon les différentes solutions, se différencie par les conséquences redistributives. Pour l'allocation initiale des droits de

propriété, ou pour le partage de la rente, la question de la définition d'un critère d'équité reste posée.

Ces différentes solutions économiques se distinguent finalement par le traitement ex-post ou ex-ante de la question de l'équité. L'allocation initiale des droits de propriété traite de front le problème de l'équité, mais au risque de paralyser la négociation. La non-affectation des recettes de la taxe ou des revenus de la vente des droits pose le problème du partage ex-post de la rente.

L'équité : concept polysémique

Outre les biais des évaluations de l'efficacité des marchés de droits que nous avons relevés dans la littérature, du fait de la non-prise en considération des investissements publics, une conclusion s'impose, au travers des négociations sur le climat. Quels que soient les critères d'équité proposés par les différents pays, tous se réfèrent à une conception légitime de l'équité, même si les justifications aux propositions des règles sont valides dans des conceptions différentes de la justice. La répartition au prorata de la population fait par exemple référence à une logique d'égalité des droits, alors que le PIB renvoie à l'idée de besoin ou de capacité contributive. Dans ce cadre il est difficile de discriminer entre un usage opportuniste du critère et une réelle revendication de justice. En supposant que les interlocuteurs soient sensibles aux critères de justice dans la répartition des droits, il n'empêche, comme le montre Underdal [1998] dans une discussion des différents modèles explicatifs des positions des gouvernements dans les négociations internationales, que le modèle de l'intérêt politique propre à chaque pays au nom desquels les négociateurs agissent, s'avère largement explicatif.

Le poids stratégique des Etats

Le pendant à cette dernière remarque est la prise en compte de la force des pollueurs. En effet, dans les négociations sur le climat, si les pays qui contribuent le plus à l'effet de serre, refusent de s'associer à l'effort international, quelles que soient les bonnes intentions des autres pays, cela n'a plus aucun sens. Les Etats-Unis représentent à eux seuls 50 % des émissions des pays de l'OCDE en 1995, et la France ne représente que 1 % des émissions de CO₂ de la planète. Quel serait dans la pratique l'effet d'un engagement seul de la France dans une action isolée. De même, au regard de l'objectif de réduction des émissions de 221 millions de tonnes Carbone (MtC) par les pays de l'annexe B en 2010 par

rapport à 1990, et en comparaison avec les 2600 MtC d'augmentation sur la même période des émissions des pays en développement, la participation et l'engagement de ces derniers quant à la limitation de leurs émissions est indispensable. Dans leur conclusion, Bernstein *et al.* [1999, p.400] notent : "... *the issue of compensation for developing countries is likely to remain open, and at least two countries (China and India), which will account for 25 % of global emissions by 2010, have reasons for refusing to agree to emission limits without some additional side-payments*".

C'est ce constat de la force des pollueurs qui a conduit certains économistes dans les années 70 à inverser le principe du *pollueur-payeur* dans le sens de la *victime-payeur*, faisant preuve de réalisme quant à l'application d'une solution qui dépend de l'adhésion volontaire des parties concernées [Godard 1999 a].

La participation volontaire

La perspective d'échange des quotas d'émission, et le raisonnement est aisément reproductible sur la dotation en d'autres ressources naturelles, en l'occurrence l'eau, fait passer la question de l'équité de la répartition des droits d'usage sur la ressource en un problème d'équité dans la répartition d'une richesse marchande Godard [1999] ou dans la répartition des charges économiques supportées par les différents pays. Dans ce contexte, au regard des besoins en ressources des pays, si l'échange ne facilite pas la recherche d'une solution équitable, il permet en revanche de dédramatiser le problème de la répartition primaire en corrigeant l'arbitraire de l'allocation initiale. Mais, et c'est l'un des résultats du rapport de O. Godard et C. Henry [1998] sur le traitement de l'équité dans les négociations internationales sur le climat, il est impossible de s'accorder sur une conception unanime de l'équité.

Si les intérêts économiques sont incapables d'orienter la coordination dans le sens de l'équité, ils peuvent en revanche inciter à la coopération, dans une perspective d'accroissement du bien-être par rapport à une situation de départ. Le réalisme politique, qui appartient à l'espace des intérêts, peut fournir une base de négociation et inciter à la coopération, du moins peut-on le penser.

En d'autres termes, on pourrait substituer une notion économique d'acceptabilité, le respect de la rationalité individuelle, à l'exigence d'équité. Cette approche par les intérêts

suppose l'acceptation générale, l'unanimité, et donc une participation volontaire de l'ensemble des partenaires. L'unanimité impliquerait de donner à chaque agent un droit de veto sur l'allocation finale, qu'il pourra exercer à chaque fois que son utilité finale u_i sera inférieure à son utilité de départ. En normalisant l'utilité de départ de l'agent à zéro, ce dernier exercera son droit de veto à chaque fois que son utilité finale sera négative. La participation pourrait être passive si l'agent n'est pas perdant, $u_i = 0$, ou alors active si $u_i > 0$. C'est le principe de la rationalité individuelle.

Le concept de cœur en théorie des jeux répond à cette préoccupation. Les allocations appartenant au cœur satisfont, pour l'ensemble des agents, à la contrainte de rationalité individuelle. Chaque agent a une utilité finale au moins égale à son utilité de départ.

Une alternative au partage physique de la ressource

Partant de ce constat, à savoir celle de la difficulté à définir un critère d'équité unanime, et mettre en application ce dernier, nous proposons une alternative au problème du partage physique de la ressource.

Nous définissons la ressource comme étant une propriété indivisible et commune aux deux Etats. La mobilisation de celle-ci requiert la fourniture d'un effort, et nous nous posons la question du partage de cet effort entre les deux Etats.

Autrement dit, la production, la distribution et le traitement de l'eau nécessitent la mobilisation et la production d'infrastructures de grandes ampleurs. Nous définissons ces infrastructures, avec l'ensemble des activités annexes de la gestion de l'eau à l'échelle des deux territoires comme étant un Bien Public International. Par conséquent, alors que dans cette première partie, nous nous sommes attachés comme objet d'étude la ressource en eau elle-même, et comme cadre d'analyse la théorie des externalités, le cadre théorique de référence devient celui de l'offre d'un bien public, et le problème posé est celui du partage du coût de financement de ce dernier.

CHAPITRE 3

L'OFFRE D'UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL OU LA PARTICIPATION VOLONTAIRE A L'ACTION COLLECTIVE

SECTION 1 : LA GESTION DES RESSOURCES COMMUNES : UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL

A l'échelle nationale, plus pour des motifs politiques et sociaux que pour des raisons économiques, la ressource eau est considérée comme un bien public [Dinar et Subramanian 1997, Dinar et Saleth 1999]. Ces motifs ont conduit un bon nombre d'Etats à pratiquer une allocation centralisée et une tarification largement favorable aux secteurs agricoles. Ces allocations ont contribué, dans certaines régions, à la surexploitation des ressources, voire à leur épuisement. Une évaluation des réponses institutionnelles aux difficultés rencontrées aujourd'hui dans les secteurs de l'eau de 22 pays [Dinar, Rosegrant et Meinzen-Dick 1997], révèle des changements dans les politiques d'intervention des pouvoirs publics. La nécessité d'une allocation efficace des ressources en eau, par une tarification optimale ou par la création d'un marché de droits, est de plus en plus reconnue. Quant aux infrastructures de distribution, de collecte et de traitement, ce sont des investissements ayant des caractéristiques de bien public, non-exclusion d'usage et indivisibilité de consommation [Zilberman et Lipper 1999, Dinar, Rosegrant et Meinzen-Dick 1997].

Dans une conférence donnée sur les politiques de santé à promouvoir dans les pays en développement, Stiglitz rappelle que l'objectif du développement ne se décline plus seulement en termes quantitatif - par un accroissement du PIB par tête - mais s'articule plus largement autour de la recherche d'un développement démocratique, équitable et soutenable. Les indicateurs de santé ont acquis une importance considérable pour introduire cette nouvelle dimension dans l'évaluation des politiques économiques menée dans les pays en développement. Stiglitz [1999] place au premier rang d'entre eux l'accès à l'eau potable : *"the most important way the health status of the poor can be improved is through access to clean water"*.

Dans l'agenda qu'il dresse aux politiques publiques afin de faire parvenir la population la plus pauvre au niveau de santé de base, Stiglitz cite en premier lieu la fourniture d'infrastructures permettant l'accès à l'eau potable (p 17)

Bromley [2000] formalise un système national d'irrigation comme un problème d'offre de bien public. Le bien public en question est la réalisation du fonctionnement optimal du système d'irrigation dans les domaines interdépendants suivants : (a) l'allocation de l'eau au sein du réseau, (b) la maintenance du système, (c) l'extraction des eaux souterraines et (d) l'optimisation de l'usage alternatif des eaux superficielles et souterraines³⁷. L'offre optimale du bien public conduit à la gestion efficace du système.

A l'échelle internationale, les grands investissements tels que les barrages et ouvrages destinés à contrôler les flux des cours d'eau internationaux, peuvent techniquement se situer d'un côté de la frontière alors que les bénéfices retirés sont des deux côtés. Ces caractéristiques de bien public font de la coopération entre pays un impératif pour une gestion efficace des ressources. Dans notre cadre d'analyse, avant d'envisager la coopération sur des investissements destinés à accroître les quantités d'eau disponibles, des marges de manœuvre existent quant à la gestion actuelle des ressources communes comme nous l'avons montré précédemment [Chapitre 1].

Après avoir discuté des deux modes de régulation des externalités au chapitre 2, et de la difficulté à déterminer un critère de partage des ressources communes aux deux Etats,

³⁷ *"The public good within an irrigation system is therefore the attainment of optimal behavior in four interrelated realms : (a) water allocation along a channel, (b) system maintenance, (c) groundwater extraction, and (d) conjunctive use of surface water and groundwater."* Bromley, 2000, pp.39.

nous proposons une alternative à la régulation des externalités, celle de l'offre d'un bien collectif. La ressource est, dans ces conditions, une propriété commune aux deux Etats qui acceptent de mettre en place une institution pour sa gestion, à l'instar des agences de bassins français. La problématique est alors celle du partage du coût de financement du bien public composé du lot des *"infrastructures qui supportent la production de l'eau, sa distribution et son traitement après usage"*, ainsi que de toutes les activités annexes qui touchent à la gestion de la ressource. Nous qualifions ce bien public commun aux deux Etats de Bien Public International (BPI par la suite).

Par souci de réalisme, nous supposons que les Etats concernés ne dotent pas l'institution chargée de la gestion des ressources d'un pouvoir coercitif. En d'autres termes, l'agence internationale de bassin ne peut imposer à aucun agent le paiement de sa quote-part du financement du bien public. Dans ce cas, l'offre du BPI ne peut être envisagée que sur la base d'une participation volontaire à une action collective.

Une gestion des ressources indivisible et non rivale

Il n'existe pas dans la littérature une définition précise et formelle des BPI. Toutefois, dans un essai sur l'avenir de l'aide au développement, Kanbu, Sandler et Morrison [1999] proposent une approche par les BPI pour aborder certains problèmes transnationaux³⁸. Les BPI sont décrits comme les résultats des activités ou des produits dont les externalités débordent, totalement ou partiellement, sur deux ou plusieurs pays.

Par ailleurs, Kaul, Grunberg et Stern [1999] esquissent une définition des biens publics mondiaux. Les caractéristiques de non-exclusion d'usage et de non-rivalité doivent concerner différents pays, différents groupes sociaux et différentes générations. Les biens publics mondiaux peuvent être purs ou impurs.

Sandler [1998] qualifie également les actions collectives internationales ayant pour objectif la réduction des gaz à effets de serre de *"transnational public goods"* et *"global and régional public goods"*.

Stiglitz [1999] identifie cinq exemples de biens publics globaux. La stabilité économique internationale, la sécurité internationale, l'environnement à l'échelle

³⁸ *"International Public Goods are types of activities or products whose benefits, wholly or partly, spill over two or more countries. Such goods include the reduction of air pollution, basic research on vaccines, and management of global flows."* in The future of development assistance : common pools and international public goods, sept.1999, Johns Hopkins University Press.

internationale, l'aide humanitaire internationale et la connaissance (au sens de l'éducation) internationale.

A l'instar des biens publics nationaux, les BPI requièrent l'action collective pour la production efficace de ces derniers.

Le dénominateur commun à ces définitions est un ensemble de particularités du bien public international, par rapport aux biens publics nationaux. Les bénéficiaires des externalités dépassent les frontières politiques des Etats, et, tandis que l'Etat détient le monopole du pouvoir coercitif pour lever un impôt destiné à la production efficace du bien, l'offre d'un BPI ne peut se faire que sur la base du volontariat, c'est-à-dire par l'adhésion volontaire. La consommation du BPI n'est ni rivale ni excluable. A l'instar des biens publics classiques, les BPI ont tendance à être sous approvisionnés.

Si l'eau est un bien parfaitement divisible, la gestion des ressources communes à l'échelle de la région qui nous intéresse, tenant compte de l'utilisation conjointe des eaux superficielles et des eaux souterraines, a les caractéristiques d'un bien public. Les eaux superficielles, comme les eaux souterraines, ont la caractéristique de non-exclusion d'usage. Le système existant, le National Water System (NWS), c'est-à-dire le NWC et ses différentes ramifications est un réseau qui relie l'ensemble des ressources communes à Israël et aux palestiniens. Le fonctionnement de ce système, par l'utilisation conjointe ou alternative des réserves souterraines et superficielles, par la recharge des réserves souterraines communes pendant l'hiver pour des prélèvements l'été, a les caractéristiques d'indivisibilité de consommation ainsi que de non-exclusion d'usage. De la même façon, les externalités de la collecte, du traitement des eaux usées ou de leur non-traitement avant leur rejet au milieu naturel, débordent au-delà des frontières des Etats.

Tout investissement destiné à accroître la production d'eau, à moderniser et à entretenir le réseau, à améliorer la qualité de la ressource, bénéficie à l'ensemble des utilisateurs des dites ressources.

SECTION 2 : LES BIENS PUBLICS : CONJECTURE DE NASH ET CONJECTURES NON-NASH

Les biens publics associent deux caractéristiques, la non-exclusion d'usage et la non-rivalité de consommation, qui renvoient à deux sources d'inefficacité du marché. Ces sources d'inefficacité justifient la prise en charge de la production des biens publics par un régulateur.

La non-exclusion d'usage

La non-exclusion d'usage, en d'autres termes, le fait que la consommation du bien s'impose à tous, sans aucune possibilité d'en priver les agents, crée un problème d'incitation à la prise en charge de la production du bien par le secteur privé. La principale raison est le comportement du passager clandestin. Telle est la justification de la prise en charge de la production des biens non-excludables par le secteur public, le financement de la production se faisant par la fiscalité. Ce qui suppose implicitement l'existence d'une autorité coercitive capable de lever un impôt.

Toutefois, le recours au régulateur pour le financement des biens non-excludables ne résout pas toutes les difficultés inhérentes à la production de ces derniers. En effet, il reste au régulateur à déterminer la quantité optimale du bien à produire. Pour cela, il a besoin de connaître le niveau de la demande en bien non-excludable et les préférences des principaux intéressés, à savoir les consommateurs. La réponse la plus intuitive qui vient à l'esprit est celle de poser directement la question aux consommateurs. Or, ces derniers savent qu'un prix va leur être imposé en contrepartie de la production du bien, on doit donc admettre qu'ils auront tendance, rationnellement, à manipuler stratégiquement l'information sur leurs véritables préférences. Nous nous trouvons face à un problème d'asymétrie d'information entre un principal et plusieurs agents.

En présence d'asymétrie d'information entre un principal et plusieurs agents, la littérature économique suggère au régulateur le recours aux mécanismes incitatifs de révélation des préférences ou de révélation de la demande, dont le schéma le plus connu est celui des mécanismes de Clark-Vickrey-Groves, pour lesquels la révélation des véritables préférences de chaque agent est une stratégie dominante. Sans le recours aux mécanismes de Groves, le régulateur laisserait une rente informationnelle aux agents les mieux informés.

La non-rivalité de consommation

C'est la propriété d'un bien de pouvoir être consommé simultanément par plusieurs agents, sans que la consommation d'un agent supplémentaire ne diminue celle des autres. En d'autres termes, en l'absence de coût de congestion, la non-rivalité se traduit par un coût marginal de fourniture d'un agent supplémentaire nul. La question est par conséquent celle de la tarification. En effet, si le secteur privé fournit le bien non-rival, il devra imposer aux utilisateurs un prix p qui couvrira le coût de production (profit nul) et il devra exclure de la consommation (rationnement) les usagers dont la disposition à payer est inférieure à p . Dans ces conditions, cette solution est pareto-inférieure à celle du financement du bien non-rival par la fiscalité avec un accès gratuit à la consommation du bien.

Le phénomène du passager clandestin et le rationnement de la consommation constituent les deux défaillances du marché incitant à la prise en charge des biens publics par l'Etat. Mais notre cadre d'analyse se caractérise par l'absence d'une autorité pouvant jouer le rôle d'un régulateur ayant le pouvoir de lever un impôt pour le financement du bien public. Peut-on envisager de financer la production du bien public par des contributions volontaires ? C'est la question à laquelle nous tentons de répondre dans les sections suivantes.

Nous commencerons par expliciter le problème théorique auquel nous sommes confrontés, i.e. celui du sous-approvisionnement du bien public par souscription volontaire. Après avoir caractérisé formellement les conditions de Samuelson [1954] (2.1), nous nous intéresserons à la conjecture sur les anticipations des agents à l'origine de l'équilibre de Nash conduisant à la production sous-optimale du bien public (2.2). Quelles conséquences y-a-t il sur la quantité de bien public produite par contribution volontaire lorsqu'on lève l'hypothèse de la conjecture de Nash ? C'est la question que nous nous poserons en 2.3. Des exemples de production de biens publics par contribution volontaire existent et sont relevés dans la littérature économique. Nous nous intéresserons au comportement des agents qui contribuent volontairement à la production de biens publics. Nous discuterons de la formalisation et des interprétations économiques de la participation volontaire à l'action collective dans la troisième section. Dans la quatrième section, nous évoquerons les résultats des expérimentations en économie publique ayant pour objet l'exploration et la compréhension du phénomène du passager clandestin.

2.1 - Les conditions de Samuelson [1954]

La caractéristique principale des biens collectifs qui, constitue un obstacle à l'allocation pareto-optimale des ressources par le marché, est la non-exclusion d'usage. Cette caractéristique peut s'interpréter en termes de contrainte de rareté. Si X est la quantité disponible de bien x , et x_i est la consommation par i du bien x , la contrainte de disponibilité d'un bien privé a une forme additive $\sum_i x_i \leq X, \forall i$. Pour un bien collectif pur, elle prend la forme $x_i = x_j = X$, ou $x_i = 0$ si le consommateur est libre de ne pas utiliser le bien collectif. En l'absence de biens collectifs, l'équilibre parétien est obtenu à l'égalité entre, les taux marginaux de substitution, entre tout couple de biens x et y pour chaque individu, et le taux marginal de transformation $TMS_{xy} = TMT_{xy}$.

En présence d'un bien collectif, nous savons depuis Samuelson [1954] que l'optimum de Pareto n'est atteint que lorsque : $\sum_{i=1}^n TMS_{Qx}^i = TMT_{Qx}$, où n désigne le nombre d'agents que comprend la collectivité, Q le bien collectif et x le bien privé. Cette condition découle de la maximisation de l'utilité d'un individu, sous contrainte de la constance du niveau de l'utilité du reste de la communauté, de la fonction de transformation de l'économie et de la contrainte de production-distribution du bien privé. Le fait qu'il soit impossible d'exclure de l'usage d'un bien collectif conduit certains agents maximisant leur utilité à se comporter en passager clandestin, c'est-à-dire à ne pas contribuer, ou alors à contribuer à un niveau inférieur à leur disposition à payer, à l'effort de production du bien collectif.

La formalisation classique de la contribution à l'offre d'un bien public est la suivante. L'économie est composée de n agents dont les préférences sont définies sur deux biens, un bien privé x et un bien public Q . Chaque consommateur dispose d'un revenu R_i , variable exogène, qu'il consacre à l'achat de bien privé en quantité x_i et à la contribution q_i pour la production d'un bien public Q , de telle sorte que sa fonction de revenu est linéaire et s'écrit: $R_i = x_i + pq_i$, p indiquant le prix de l'acquisition d'une unité de bien public. La quantité de bien public Q est produite à partir des contributions des agents et on peut écrire : $Q = \sum_{i=1}^n q_i$ ou alors $Q = Q_{-i} + q_i$ avec $Q_{-i} = \sum_{j \neq i} q_j$ la contribution des agents j différents de i .

La fonction d'utilité $u_i(x_i, Q)$ de chaque agent est continue, strictement croissante, strictement quasi-concave et différentiable par rapport à ses deux arguments.

Caractérisons l'optimum de Pareto dans une économie composée de 2 agents I et P.

Le programme permettant de retrouver les allocations pareto-optimales des ressources est le suivant :

$$\begin{aligned} & \max_{x_I, x_P, Q} u_I(x_I, Q) \\ \text{s/c} & \begin{cases} u_P(x_P, Q) \geq \bar{u}_P \\ R_I + R_P \geq x_I + x_P + Q \end{cases} \end{aligned}$$

la fonction de Lagrange est la suivante :

$$L = u_I(x_I, Q) + \lambda [u_P(x_P, Q) - \bar{u}_P] + \mu [R_I + R_P - x_I - x_P - Q]$$

Les conditions de premier ordre sont suffisantes compte tenu des particularités des fonctions d'utilité.

$$\frac{\partial L}{\partial x_I} = \frac{\partial u_I(x_I, Q)}{\partial x_I} - \mu = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_P} = \lambda \frac{\partial u_P(x_P, Q)}{\partial x_P} - \mu = 0 \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Q} = \frac{\partial u_I(x_I, Q)}{\partial Q} + \lambda \frac{\partial u_P(x_P, Q)}{\partial Q} - \mu = 0 \quad (3.3)$$

Les équations (3.3), (3.2) et (3.1) se transforment respectivement en :

$$\frac{1}{\mu} \frac{\partial u_I(x_I, Q)}{\partial Q} + \frac{\lambda}{\mu} \frac{\partial u_P(x_P, Q)}{\partial Q} = 1 \quad (3.4)$$

$$\frac{\mu}{\lambda} = \frac{\partial u_P(x_P, Q)}{\partial x_P} \quad (3.5)$$

$$\mu = \frac{\partial u_I(x_I, Q)}{\partial x_P} \quad (3.6)$$

En substituant (3.5) et (3.6) dans (3.4), on obtient les conditions de Samuelson [1954]

$$\frac{\frac{\partial u_I(x_I, Q)}{\partial Q}}{\frac{\partial u_I(x_I, Q)}{\partial x_I}} + \frac{\frac{\partial u_P(x_P, Q)}{\partial Q}}{\frac{\partial u_P(x_P, Q)}{\partial x_P}} = 1$$

On notera, $\frac{\frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial x_i}}{\frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial Q}} = \frac{dx_i}{dQ} \Big|_{u_i}$ le taux marginal de substitution pour l'agent i entre le bien

public Q et le bien x , TMS_{Qx}^i , c'est-à-dire sa propension à sacrifier sa consommation de bien privé x pour un accroissement de sa consommation de bien public Q , sachant que tout accroissement de sa contribution à Q bénéficie à l'ensemble des agents.

Notons que dans la fonction d'utilité d'un agent, c'est le volume Q de bien public qui apparaît, tandis que sa contribution q_i entre dans sa contrainte de revenu R_i . Cette formalisation traduit le fait que chaque agent considère sa contribution comme parfaitement substituable à celle des autres, puisque ce qui lui importe c'est le volume total de bien public produit. En revanche, sa contribution est génératrice d'un coût dans la mesure où elle se traduit par un manque à gagner en consommation de bien privé x . C'est d'ailleurs ce coût d'opportunité d'une contribution qu'il considère comme substituable à celle des autres qui le pousse à se comporter en passager clandestin.

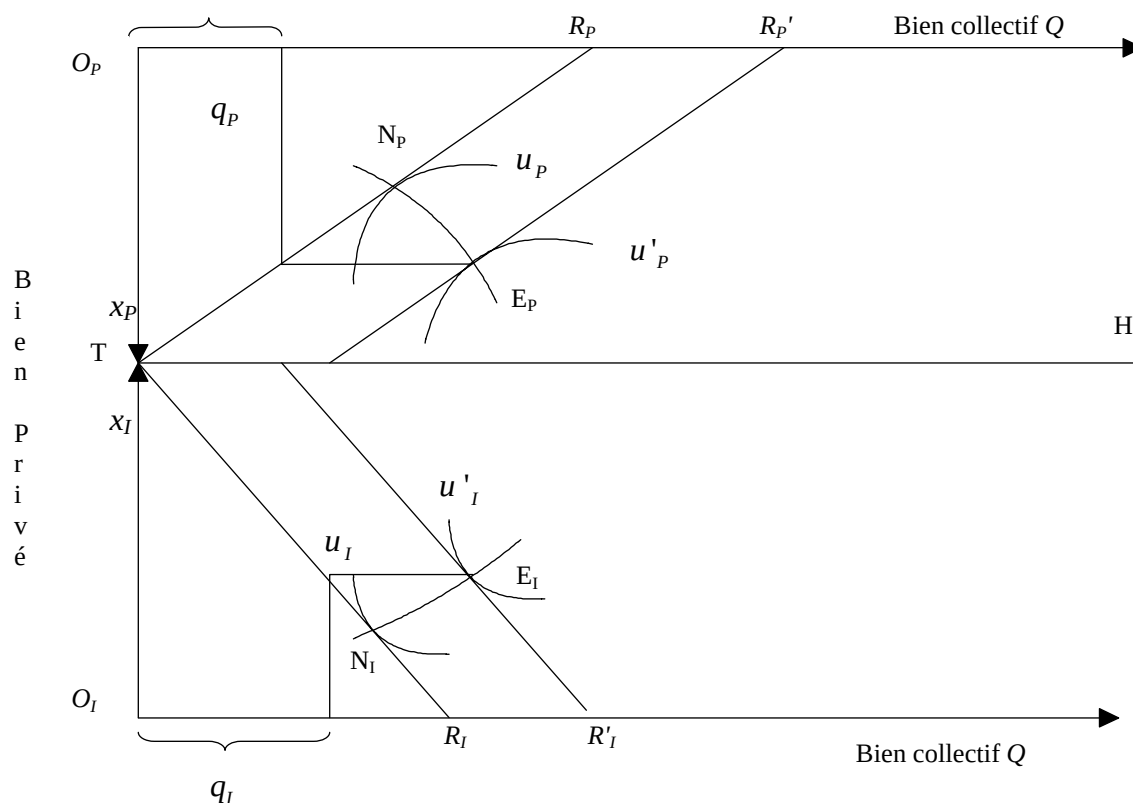
2.2 - *Equilibre de Nash et interprétation de la conjecture de Nash*

Le modèle d'interaction entre agents le plus communément utilisé dans la formalisation de la contribution volontaire aux biens publics repose sur le concept de l'équilibre de Nash. L'équilibre de Nash se caractérise par la propriété suivante : chaque agent calcule la stratégie qui maximise sa fonction-objectif en supposant données les valeurs des décisions stratégiques des autres agents. En d'autres termes la stratégie des autres agents est une donnée exogène sur laquelle sa propre décision n'a aucune influence.

2.2.1 - *L'équilibre de Nash dans la boîte d'Edgeworth*

La figure suivante de la boîte d'Edgeworth modifiée permet d'illustrer les effets de débordement de la contribution à la production d'un bien public. Les effets de débordement de cette production conduisent chaque agent à interpréter la contribution des autres comme une hausse de son propre revenu, l'incitant ainsi à se comporter en passager clandestin rationnellement égoïste. L'équilibre sous-optimal qui en résulte est un équilibre de Nash, et la production de bien public est inférieure à la production optimale.

Figure 3.1 : Représentation graphique de l'équilibre de Nash dans une boîte d'Edgeworth modifiée



D'après Cornes et Sandler [1986].

S'agissant de notre économie à deux agents I et P, la quantité de bien collectif Q est mesurée sur les deux axes horizontaux, et la quantité de bien privé disponible sur l'axe vertical. Pour l'individu I, la consommation de bien privé x_I est mesurée du bas vers le haut, et celle x_P de l'individu P se mesure sur le même axe mais dans le sens inverse. La distance $O_I O_P$ sur l'axe vertical donne la quantité totale de bien privé disponible. La ligne TH coulisse le long de l'axe vertical dans les limites de $O_I O_P$, donnant ainsi la distribution des ressources.

Dans un premier temps, chaque agent déterminera individuellement sa contribution optimale sous contrainte budgétaire, R_I pour l'agent I et R_P pour l'agent P, considérant la contribution de l'autre comme une constante. Les stratégies optimales "isolées" qui en résultent correspondent aux points de tangence N_I et N_P entre les droites de budget et les courbes d'indifférence u_I et u_P . Chaque agent ajuste par la suite sa stratégie en fonction de la contribution de l'autre. Les courbes qui relient l'ensemble de ces points d'ajustement

constituent la fonction de réaction de chaque agent. L'équilibre est atteint lorsque la stratégie de P constitue la meilleure réponse à la stratégie de I, et réciproquement.

Supposons que l'individu P contribue q_p unités à la production de Q. La quantité de bien public produite profite directement à l'individu I en raison de la non-exclusion d'usage. Ce dernier bénéficie donc des externalités positives (effet de débordement) de la contribution de l'autre. Cette externalité positive s'interprète comme un accroissement de revenu pour celui qui en bénéficie. La droite de budget de I se déplace de R_I vers R'_I .

Réciproquement, la contribution q_I à la production du bien public profite à P. La droite de budget de ce dernier se déplace horizontalement. Les courbes $N_I E_I$ et $N_P E_P$ indiquent les solutions de Nash, c'est-à-dire la réponse optimale de chaque agent à une variation paramétrique de la contribution de l'autre. L'équilibre de Nash correspond aux points E_I et E_P . C'est le couple de stratégie (q_I, q_P) , tel que q_I est la meilleure réponse de I à q_P et q_P est la meilleure réponse de P à q_I . L'équilibre de Nash est le point d'intersection entre les fonctions de réaction dans l'espace (q_I, q_P) (figure 3.3).

2.2.2 - Conjecture de Nash et Anticipations

Chaque agent maximise son utilité en considérant celle de l'autre comme donnée. La conjecture de Nash suppose donc une croyance des agents selon laquelle leur stratégie n'a aucune incidence sur les stratégies des autres individus. Afin de retrouver sur la figure 3.1 la contribution de l'individu I à l'équilibre de Nash, on projette horizontalement le point E_I sur la droite de budget R_I , déduisant ainsi l'effet de débordement. Elle correspond bien à q_I . De même la contribution de P à l'équilibre de Nash est de q_P .

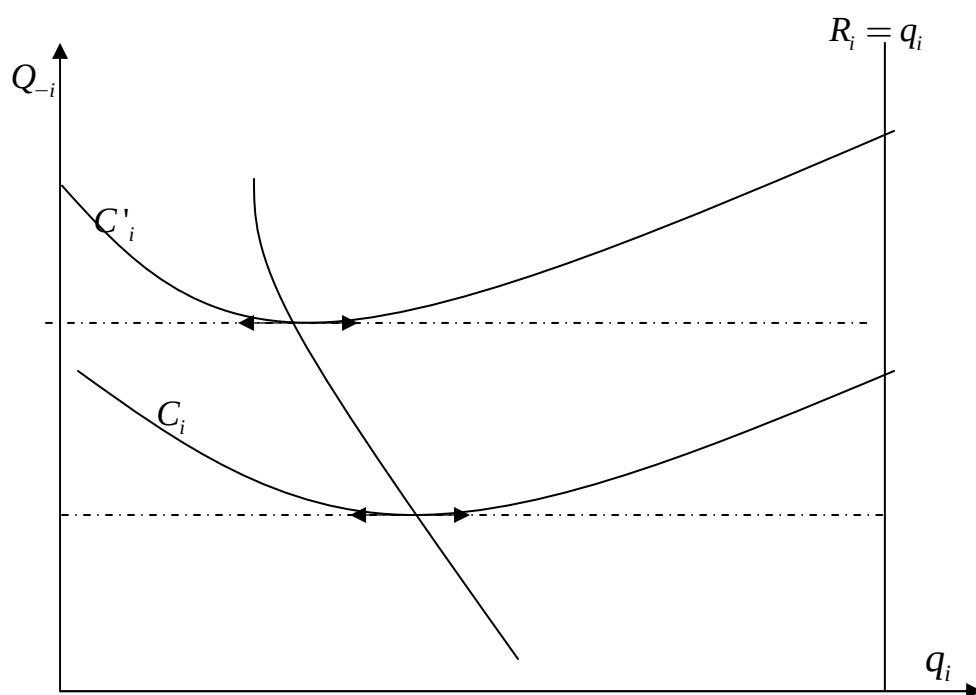
Reconsidérons le jeu avec n agents. Nous illustrons la conjecture de Nash sur les anticipations dans l'espace (q_i, Q_{-i}) .

En supposant que les agents dépensent la totalité de leur revenu, autrement dit lorsque la contrainte de revenu $R_i \geq x_i + pq_i$ de l'agent i tend à l'égalité, il est possible d'éliminer le bien privé x de la fonction d'utilité $u_i(x_i, Q)$. Cette dernière s'écrit désormais de la façon suivante : $u_i(R_i - pq_i, Q_{-i} + q_i)$. La figure 3.2 illustre les réactions de l'agent i dans l'espace (q_i, Q_{-i}) . Les variables R_i et p sont des variables exogènes. Un

accroissement de la contribution Q_{-i} des autres agents conduit à un accroissement de l'utilité de l'agent i et à un déplacement vers le haut de sa courbe d'indifférence C . La droite verticale $R_i = q_i$ est le lieu où l'agent consacre la totalité de son revenu à la contribution du bien public.

La droite horizontale (en pointillé) définit un ensemble d'allocations réalisables. Au point de tangence avec la courbe d'indifférence, cette droite détermine la contribution optimale de l'agent, la contribution Q_{-i} du reste de la communauté étant donnée.

Figure 3.2 : Réaction de Nash dans l'espace (q_i, Q_{-i})



A chaque variation paramétrique de Q_{-i} , l'agent i réagit en ajustant sa contribution optimale au point de tangence entre sa courbe d'indifférence la plus élevée et la droite horizontale. Ces points de tangence constituent la fonction de réaction de Nash de l'agent i , c'est-à-dire la meilleure réaction de l'agent i à la contribution des autres.

Afin de caractériser algébriquement l'ensemble de ces points, nous partons de la fonction d'utilité de i , $u_i(x_i, Q)$. Le déplacement le long d'une courbe d'indifférence ne modifie pas le niveau d'utilité de telle sorte que l'on peut écrire l'équation de la différentielle totale :

$$du = \frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial x_i} dx_i + \frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial Q} dQ = 0. \quad (3.7)$$

En remplaçant x par sa valeur dans la contrainte de revenu, et Q par $(Q_{-i} + q_i)$, cette expression devient :

$$\frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial x_i} d(R_i - pq_i) + \frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial Q} d(Q_{-i} + q_i) = 0, \quad (3.8)$$

ou encore,

$$-p \frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial x_i} d(q_i) + \frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial Q} d(q_i) + \frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial Q} d(Q_{-i}) = 0. \quad (3.9)$$

L'interprétation du comportement de l'agent à l'équilibre de Nash est par conséquent le suivant. A un niveau d'utilité constant $u_i = \bar{u}$, un accroissement $d(q_i)$ de sa contribution au bien public lui procure un bénéfice marginal de $\frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial Q}$ (deuxième terme de l'équation (3.9)). Par la même occasion, cette contribution supplémentaire lui coûte $p \frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial x_i}$ en termes de réduction de sa consommation de bien privé x , (premier terme de l'équation (3.9)). Ce dernier ajustera systématiquement sa contribution de telle sorte qu'à l'optimum, le bénéfice marginal de sa contribution soit égal au coût marginal de cette même contribution.

Par ailleurs, un accroissement de la contribution des autres agents $d(Q_{-i})$ à la production du bien collectif a le même effet $\frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial Q}$ (troisième terme de l'équation (3.9)) sur l'utilité de l'agent i qu'une augmentation de sa propre contribution.

A partir de l'équation (3.9) on obtient la caractérisation de la pente d'une tangente à la courbe d'indifférence en un point:

$$\left. \frac{dQ_{-i}}{dq_i} \right|_{u_i = \bar{u}} = p \left[\frac{\frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial x_i}}{\frac{\partial u_i(x_i, Q)}{\partial Q}} \right]^{-1} \quad (3.10), \text{ ou alors}$$

$$\left. \frac{dQ_{-i}}{dq_i} \right|_{u_i = \bar{u}} = \frac{p}{[TMS_{Q/x}]} - 1 \quad (3.10)'$$

La réaction de Nash de l'agent i se caractérise par le fait que dans l'espace (Q_{-i}, q_i) la pente de la tangente à la courbe d'indifférence est nulle (la droite horizontale). La caractérisation de l'optimum d'un agent à l'équilibre de Nash s'obtient par l'annulation de l'équation (3.10)'. La contribution des autres agents Q_{-i} est en effet anticipée comme indépendante de q_i , par conséquent :

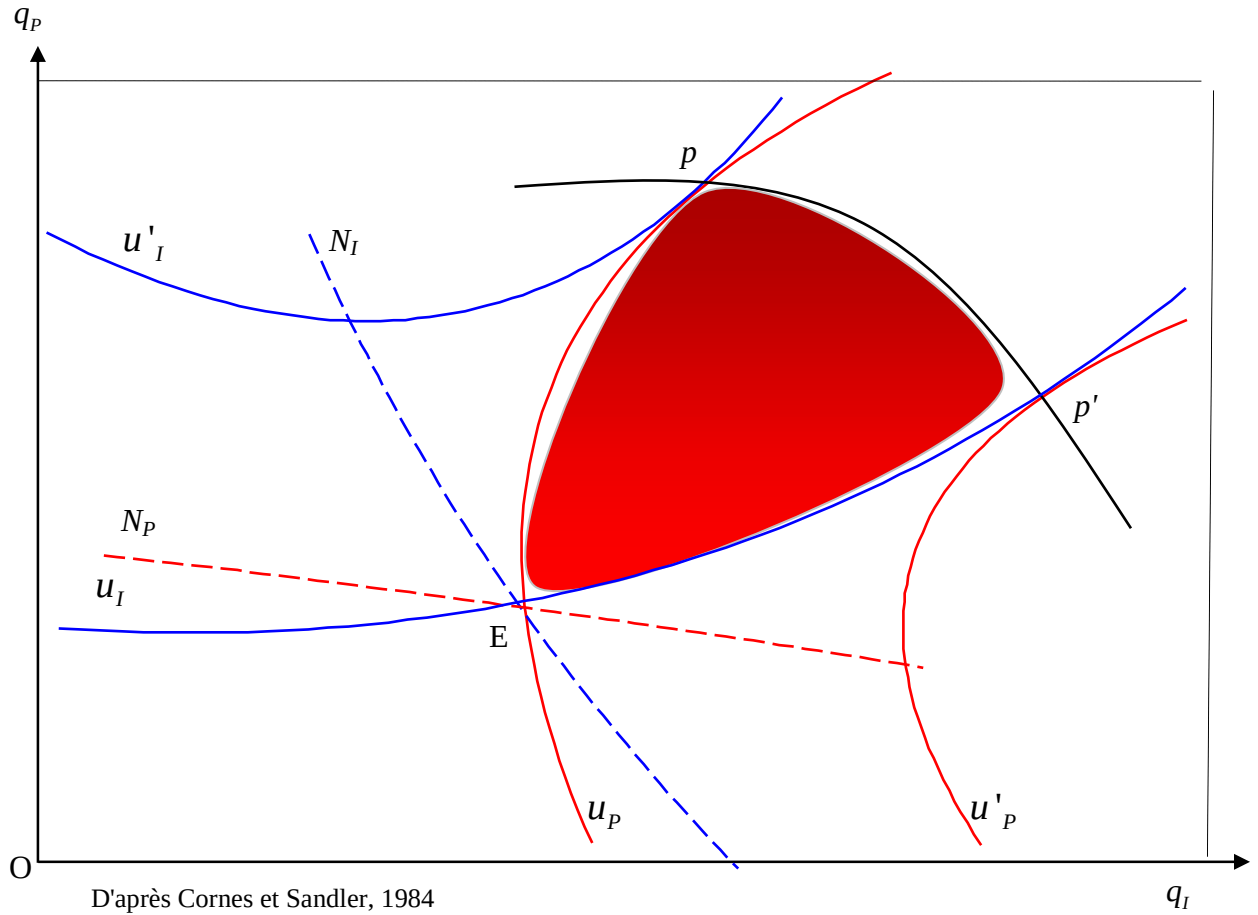
$$p = [TMS_{Q/x}] \quad (3.11)$$

Sur la figure 3.2, la courbe qui relie l'ensemble de ces tangentes de pentes nulles aux courbes d'indifférence est la courbe de la fonction de réaction de Nash. La pente de cette fonction de réaction de Nash est négative. Elle correspond aux lieux où le $TMS_{Q/x}$ est constant et égal à p .

La figure 3.3 illustre dans le même espace, l'équilibre de Nash résultant de la souscription volontaire à la production du bien public ainsi que le lieu des allocations parétiennes. Une telle représentation graphique suppose que les agents sont identiques. L'agent P dont la contribution est mesurée sur l'axe des ordonnées est considéré comme un agent qui représente le reste de la communauté et dont les contributions sont agrégées dans la variable Q_{-i} .

La représentation graphique ci-dessous correspond à notre économie à deux agents I et P . Les courbes d'indifférences de l'individu I (en bleu) et P (en rouge) sont respectivement u_I et u'_I et u_P et u'_P dans le plan (q_I, q_P) . Les courbes de réactions de Nash N_I et N_P se croisent au point E , équilibre de Nash. La courbe pp' est le lieu de tangence des courbes d'indifférence de I et P , en d'autres termes c'est le lieu des optima de Pareto. La région colorée du graphique correspond aux lieux qui procurent un avantage mutuel aux deux agents, par rapport à l'équilibre de Nash E .

Figure 3.3 : Equilibre de Nash et optima de Pareto



La caractérisation des points optima de Pareto se fait par l'égalisation des expressions des pentes des tangentes aux courbes d'indifférence (3.10). Dans le plan (q_I, q_P) ,

$\frac{p}{\left[TMS_{Q/x}^I \right]} - 1 = \left[\frac{p}{\left[TMS_{Q/x}^P \right]} - 1 \right]^{-1}$. Ecrit autrement, nous retrouvons l'expression des conditions de Samuelson [1954] :

$$p = \left[\frac{\frac{\partial U_I}{\partial x_I}}{\frac{\partial U_I}{\partial Q}} \right] + \left[\frac{\frac{\partial U_P}{\partial x_P}}{\frac{\partial U_P}{\partial Q}} \right]$$

Une allocation optimale de bien public exigerait que la somme des taux marginaux de substitution entre bien public et bien privé de l'ensemble des agents soit égale à p , $TMS_{Q/x_I} + TMS_{Q/x_P} = p$. La comparaison avec l'écriture (3.11), où le TMS de chaque

individu est égal à p , permet de mettre en exergue la caractéristique sous optimale de l'équilibre de Nash quant à la production du bien collectif.

La production agrégée du bien collectif à l'équilibre de Nash est inférieure à la production à l'optimum de Pareto.

Toutefois, de nombreux auteurs se sont posés la question de la pertinence de la conjecture de Nash. Guttman [1978], Cornes et Sandler [1984, 1985], Sugden [1982, 1984, 1985, 1991] l'ont fait dans le cadre de modèles statiques ; Freshtman et Nitzan [1991], Itaya et Dasgupta [1995], Wirl [1996], Itaya et Shimomura [2001] répondant aux critiques quant à l'apprentissage des agents l'ont fait dans le cadre de modèles dynamiques ; Andreoni [1988, 1995], Fischbaker *et al.* [2001] ont tenté de mesurer le phénomène dans le cadre d'expérimentations en laboratoire.

Nous nous faisons, sans avoir l'intention d'être exhaustif, l'écho de ce débat sur la pertinence de la conjecture de Nash. Les questions auxquelles nous essayons d'apporter un éclairage sont les suivantes : quelles sont les anticipations sous-jacentes au comportement de Nash ? Quelles sont les interprétations que l'on peut attribuer au phénomène du passager clandestin ? Comment expliquer que, dans certaines situations, la production de bien public soit correctement financée par contribution volontaire, i.e. au-delà de ce que prédit la théorie ? Faut-il pour autant, à l'aune de ces expériences réussies de production de bien public par contribution volontaire, remettre en cause l'hypothèse de la conjecture de Nash ? En résumé, y-a-t il une alternative à la conjecture de Nash retenue traditionnellement par les économistes ?

Les premiers jeux décrivant des anticipations arbitraires sont statiques, à un seul coup et à information complète. L'analyse se précise en tenant compte de la dynamique. L'apprentissage est introduit par la dynamique, en rendant observables les comportements stratégiques des autres.

2.3 - Les anticipations Non-Nash : Matching et Offsetting [Cornes et Sandler 1984]

2.3.1 - Les modèles statiques

On retrouve différentes justifications de la conjecture de Nash parmi lesquelles, l'impossibilité de l'observation de la contribution des autres agents [Shilony 2000, McMillan 1979] et l'importance du groupe d'agents. Dans ce dernier cas, lorsque le nombre d'agent n tend vers l'infini, le rapport q_i / Q_{-i} tend vers zéro et la contribution d'un agent particulier se "*dilue*" dans la totalité des contributions.

Si la conjecture de Nash³⁹ est l'hypothèse traditionnelle retenue dans la littérature sur les contributions volontaires à l'offre d'un bien public, de nombreux auteurs se sont posé la question d'une anticipation par i d'une réaction non-nulle de Q_{-i} consécutive à une variation de sa contribution q_i . En d'autres termes, que se passerait-il si les agents avaient des croyances différentes de celles attribuées au comportement de Nash ? Il existe toute une littérature sur les conjectures Non-Nash.

Cornes et Sandler [1984] ont posé le cadre des anticipations arbitraires des agents. Ils mesurent les conséquences en termes de quantité de bien public produite lorsque les agents font des anticipations déviant de la conjecture de Nash. Sous certaines conditions, des anticipations de réponses positives, il serait possible de se rapprocher de l'optimum de Pareto. Sugden [1985] rebondit sur la formalisation des anticipations déviant de la traditionnelle conjecture de Nash, i.e. celle des auteurs précédents, pour montrer le résultat exactement inverse. En levant l'hypothèse de la conjecture traditionnelle, le phénomène du passager clandestin est exacerbé et l'auteur pronostique une production de bien public pareto-inférieure à la situation précédente, voire une production nulle.

Soit un agent i qui anticipe une réponse des autres agents $j \neq i$ consécutive à une modification de sa propre stratégie. Cette anticipation de la réponse n'est plus, comme ce fut le cas jusqu'à présent, fixée et égale à zéro, elle est variable et l'on parlera de conjecture

³⁹ On parle également de "*zero conjecture*" [Cornes et Sandler 1984, Sugden 1985], de conjecture de Nash-Cournot.

Non-Nash ou conjecture variable. L'agent i introduit sa conjecture dans sa fonction-objectif pour déterminer sa stratégie optimale.

Notons $\left(\frac{dQ_i^a}{dq_i} \right) = \alpha$ l'anticipation faite par i de la réponse des autres agents $j \neq i$,

faisant suite à une variation de sa contribution à l'effort de production du bien public. Cette expression de la réponse anticipée est celle de la pente de la tangente à la courbe d'indifférence en n'importe quel point du plan (q_i, Q_{-i}) . La conjecture de Nash correspond au cas où $\alpha = 0$ ⁴⁰, i.e. l'agent anticipe une absence de réponse, une indifférence, de la part des autres agents quant à une modification de sa propre contribution.

Lorsque la valeur de α est positive, l'agent anticipe une corrélation positive entre sa propre contribution et celle des autres agents. Il conjecture qu'une augmentation de sa contribution à l'effort de production du bien public est une incitation au "*mimétisme*" au sens où elle conduit à une augmentation de la contribution des autres agents. Ce phénomène est connu dans la littérature anglo-saxonne sous le terme de "*matching*"⁴¹ [Sugden 1985, Cornes et Sandler 1984, Shilony 2000, Itaya et Shimomura 2001]. Le pionnier de la formalisation de cette idée de conjecture positive est Guttman [1978]. Cette idée peut également être interprétée comme une contribution, ou un engagement conditionnel tel que la réciprocité de Sugden [1984]. Toutefois, alors que la définition et la conception du jeu chez Guttman conduisent systématiquement à un équilibre pareto-optimal, la formalisation de Sugden [1984] conduit à un continuum de solutions compris entre une borne inférieure et une borne supérieure pareto-optimale.

⁴⁰ Dans l'espace (x_i, Q) , lorsque le prix du bien public est égal à 1, l'anticipation de l'agent correspondant à une conjecture de Nash est : $\left(\frac{\partial Q^a}{\partial x_i} \right) = -1$. Lorsque l'agent i anticipe un comportement d'*appariement*

$\left(\frac{\partial Q^a}{\partial x_i} \right) < -1$, tandis qu'une anticipation d'un comportement de *compensation* se formalise par $\left(\frac{\partial Q^a}{\partial x_i} \right) > -1$

⁴¹ A titre d'illustration, on peut citer l'exemple du téléthon comme production de bien collectif par contribution volontaire. Le comportement des agents peut être interprété comme un comportement de *matching*. En effet, si l'intuition qui est à la base de la théorie traditionnelle du comportement de Nash réside dans le fait que les contributions des agents ne sont pas observables, par conséquent elles ne peuvent être qu'anticipées. Le *matching* au sens du *mimétisme*, puisque les médias rendent cette contribution, même globale, transparente, peut constituer une interprétation du succès de la mobilisation générale et l'engagement dans une action collective.

Lorsque la valeur de α est négative, l'agent anticipe une corrélation négative entre sa contribution et celle des autres. Il va supposer qu'une augmentation de sa contribution va entraîner une diminution de celle des autres membres, ou alors symétriquement, qu'une réduction de sa contribution va être compensée par un accroissement de celle des autres membres de la communauté. Varian [1994] assimile ce comportement à une forme de subvention croisée des contributions entre agents. En effet, dans le modèle de l'auteur, les agents compensent leurs contributions. L'agent i anticipe une corrélation négative entre son effort de contribution et celui des autres agents. Il anticipe qu'une diminution de sa contribution inciterait les autres agents à accroître leurs efforts de façon à compenser cette réduction, et vice versa. L'"offsetting" est le vocable anglais décrivant cette anticipation de compensation.

Cornes et Sandler [1984] proposent une généralisation de la formalisation de l'anticipation de réponse, que font les agents, consécutive à une variation de l'effort fourni pour la production du bien public. Selon les auteurs, il n'y a en effet aucune raison et aucune rationalité dans la détermination d'une forme fonctionnelle particulière de l'anticipation d'un agent. Celle-ci est fonction d'un certain nombre de paramètres que l'on peut regrouper dans un vecteur θ ,

$$\left(\frac{dQ_{-i}^a}{dq_i} \right) = f(\theta, q_i) \quad (3.12),$$

et dont la primitive, si elle en admet une, s'écrit $Q_{-i}^a = F(\theta, q_i, k)$. Cette dernière expression correspond à la fonction d'anticipation, i.e. à la valeur de Q_{-i} attendue par l'agent i lorsqu'il modifie sa contribution, k étant la constante d'intégration. La détermination de la stratégie d'un individu étant fonction des anticipations qu'il fera, nous remplaçons Q_{-i} par sa valeur anticipée Q_{-i}^a dans le programme de l'agent i . Ce dernier programme devient :

$$\max_{x_i, q_i} u_i(x_i, Q_{-i}^a(\theta, q_i, k) + q_i)$$

$$\text{sous contrainte } R_i = x_i + pq_i$$

Les conditions de premier ordre⁴² qui en résultent sont :

$$\left(\frac{dQ_{-i}^a}{dq_i} + 1 \right) TMS_{Q/x} = p \quad (3.13).$$

Cette expression est celle des conditions optimales décrivant le comportement d'un agent lorsqu'il fait des conjectures arbitraires. Le terme $\left(\frac{dQ_{-i}^a}{dq_i} + 1 \right)$ est par conséquent un coefficient multiplicateur du TMS permettant de caractériser l'optimum d'un agent en fonction de ses anticipations.

Ainsi, lorsque $\frac{dQ_{-i}^a}{dq_i} = 0$, on retrouve l'expression (3.11) de la rationalité de l'agent qui fait des anticipations de Nash.

L'expression (3.13) peut aussi s'écrire :

$$\frac{dQ_{-i}^a}{dq_i} = \frac{p}{TMS_{Q/x}} - 1 \quad (3.13)',$$

le terme de gauche est celui de la pente de la tangente en un point de la courbe d'anticipation, et l'expression de droite est celle de la pente de la tangente en un point de la courbe d'indifférence. Le signe de l'expression (3.13)' donne le sens de l'évolution des anticipations de réponse des agents.

Sur la figure 3.4 ci-dessous, nous avons représenté les sentiers $[Q_{-i}^a]$ des anticipations, les courbes d'indifférence (en noir) d'un agent représentatif i , et les courbes d'indifférence (en bleu) de l'agent j .

2.3.1.1 - Matching, ou mimétisme

Les courbes d'anticipation $[Q_{-i}^a]_k$, $k=1..4$ (en vert) sont celles dont les pentes sont positives et par conséquent correspondent à des anticipations conduisant au comportement de *matching*. La courbe (vert gras) qui relie les points tangents entre ces courbes et les courbes d'indifférence est la courbe de réaction du *matching* " M ", c'est-à-dire l'ensemble des points vérifiant l'équation (3.13)'.

⁴² A chaque fois que les conditions de premier ordre sont satisfaites, les auteurs supposent également

Cette dernière a une pente positive de telle sorte qu'à chaque contribution supplémentaire de sa part, l'agent i anticipe un accroissement des contributions du reste de la communauté. Les autres agents abondent dans le sens de la contribution de i . Ainsi, i anticipe qu'un accroissement de 1 euro de sa contribution au bien public a pour conséquence une augmentation de plus d'un euro de la quantité de bien public consommé. Cette anticipation d'une réponse positive incite les agents à contribuer davantage que l'anticipation en Nash.

2.3.1.2 - Offsetting, réponse inverse ou réponse opposée

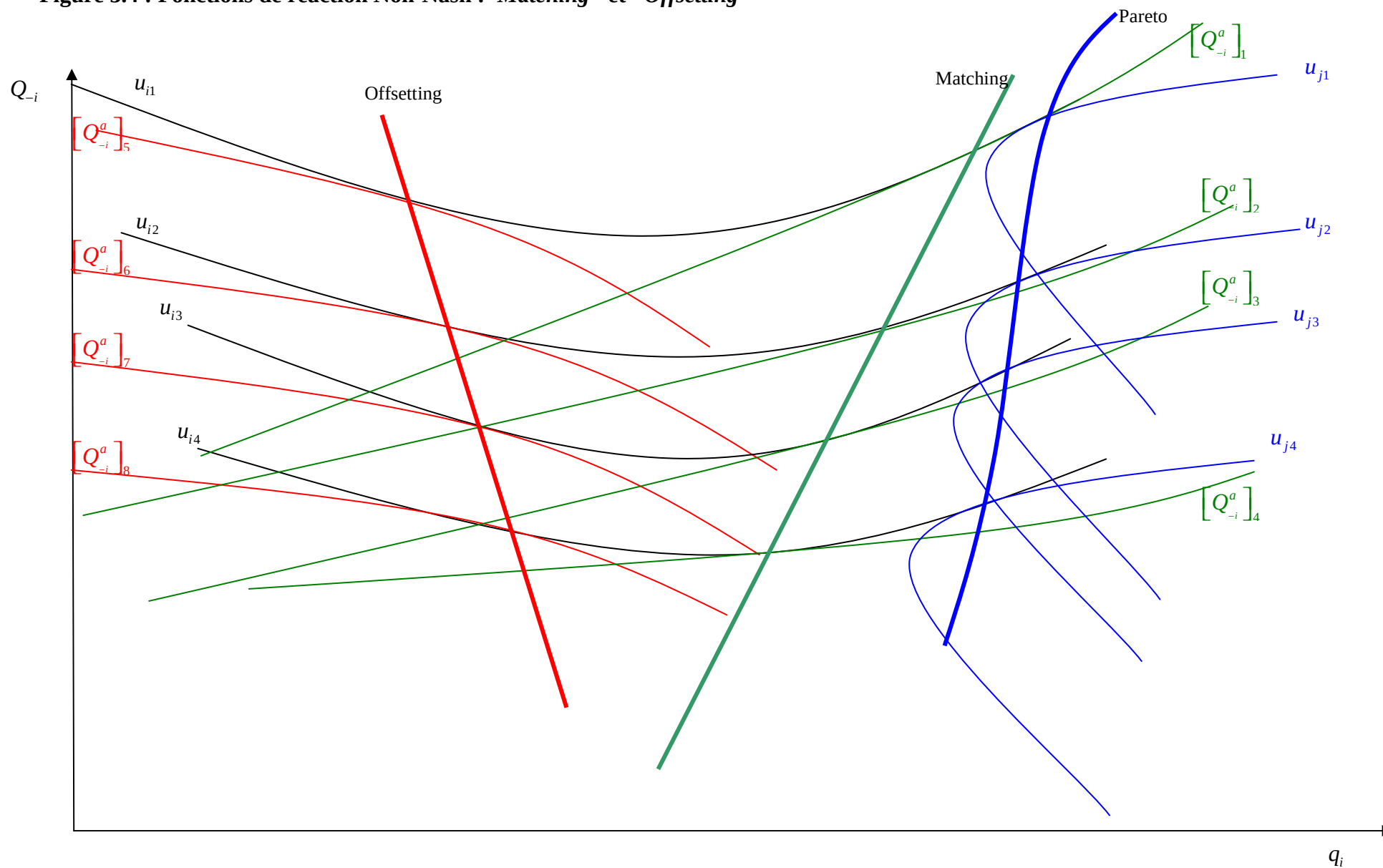
Les sentiers d'anticipation $\left[Q_{-i}^a \right]_k$, $k = 5..8$ (en rouge) ont des pentes négatives traduisant une anticipation d'un comportement de compensation (*offsetting*). La courbe "O" (en rouge gras) qui relie les points tangents entre les courbes d'indifférence et les sentiers d'anticipation aux pentes négatives correspond à la courbe de réaction du *offsetting*. Cette courbe de réaction "O" a une pente négative. L'agent anticipe comme réponse à toute contribution supplémentaire de sa part une réduction de la contribution des autres membres de la société. Cette anticipation négative le dissuade de contribuer davantage. Dans ces conditions, sa contribution optimale est inférieure à celle correspondant à la situation de Nash.

Sur le graphique 3.4, nous avons également représenté la frontière des optima de Pareto (bleu gras) correspondant aux lieux où les courbes d'indifférence de l'agent j (en bleu) sont tangentes à celles de l'agent i (en noir).

En résumé, il apparaît qu'une conjecture de réponse positive incite les agents à contribuer davantage qu'en situation de Nash. Le comportement de *matching* qui en résulte rapproche de l'allocation parétienne. Une anticipation négative de la réponse des autres membres de la communauté freine les agents dans leur velléité de contribution et nous éloigne de l'allocation parétienne.

remplies les conditions de second ordre.

Figure 3.4 : Fonctions de réaction Non-Nash : "Matching" et "Offsetting"



Ainsi pour Cornes et Sandler [1984, 1985], le problème du passager clandestin inhérent à la contribution volontaire pour la production d'un bien public pourrait être résolu si les agents faisaient des anticipations positives comme réponse à une modification de la leur.

Le rapport $\frac{q_i}{Q_{-i}}$ mesure l'importance relative de la contribution d'un agent à la production d'un bien public. Par conséquent, une grande variété de comportement des agents peut être décrite par la formulation suivante de la réponse anticipée :

$\frac{dQ_{-i}^a}{dq_i} = \left[\frac{q_i}{Q_{-i}} \right]^\theta$. Ce rapport étant positif, il suggère que l'anticipation des agents tende plutôt vers le *matching* que vers l'inverse. Dans l'hypothèse où les agents ont des dotations initiales identiques et présentent les mêmes préférences pour le bien public, autrement dit dans un jeu symétrique, ce rapport est fonction du nombre d'agents qui composent la société. Plus les individus sont nombreux, et plus l'agent aura tendance à avoir une conjecture de Nash qui est une limite lorsque n tend vers l'infini, dans la mesure où l'importance de sa contribution relative s'affaiblit. Plus la contribution d'un agent est relativement importante par rapport à la contribution des autres, moins l'agent anticipera une réaction d'indifférence des autres. La tendance naturelle des agents, si l'on accepte que l'idée selon laquelle les anticipations sont fonction du poids relatif de la contribution de chacun, est un comportement de *matching*.

2.3.1.3 - La critique de Sugden [1985]

C'est cette dernière affirmation qui fait l'objet d'une critique de la part de Sugden [1985]. Tout d'abord, sa formalisation des anticipations des agents se situe dans l'espace (x_i, Q) . L'auteur définit la fonction

$$f(x_i, Q) = \frac{dQ}{dx_i} \Big|_{u_i = \bar{u}} \quad (3.14)$$

qui est l'expression du taux marginal de substitution, entre le bien public et le bien privé, en un point de la courbe d'indifférence.

La courbe de réaction est le lieu des points tangents entre les courbes d'indifférence et les courbes d'anticipation (cf. figure 3.4). Autrement dit, la courbe de réaction est le chemin d'expansion de l'utilité tel que le TMS reste constant :

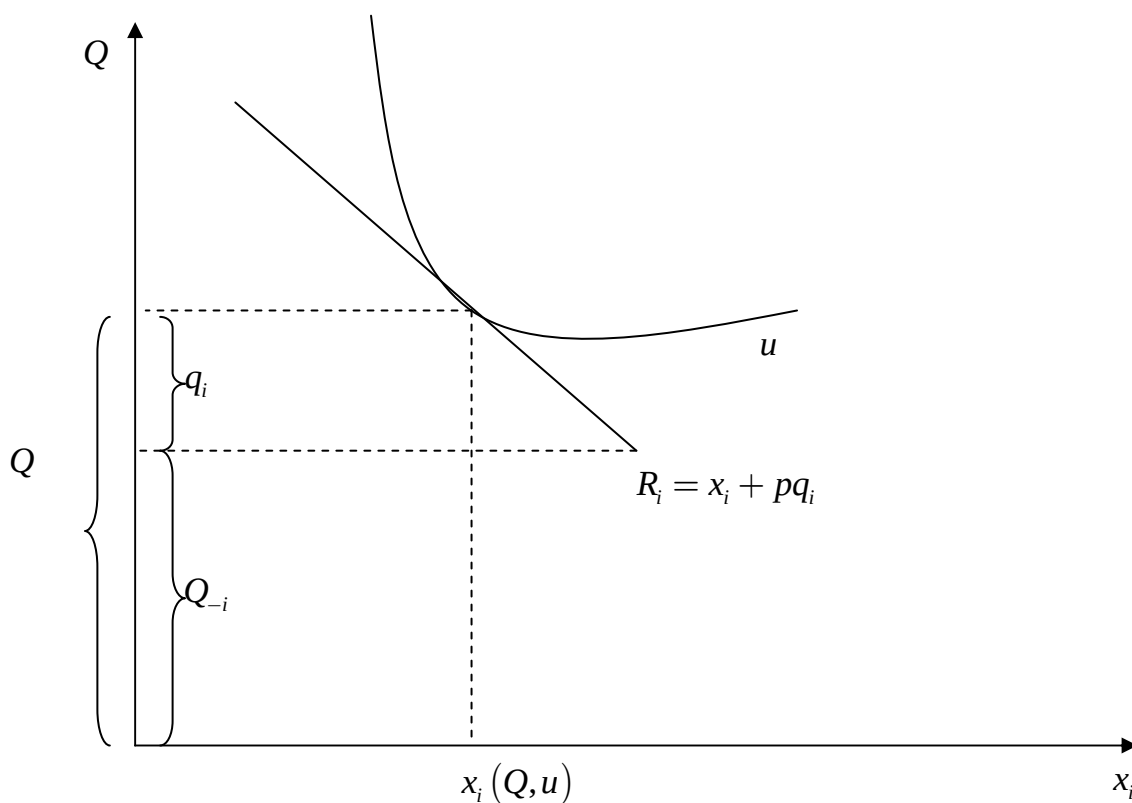
$$g(x_i, Q) = \left. \frac{dQ}{dx_i} \right|_{f(x_i, Q) = \bar{f}} \quad (3.15)$$

Les agents disposent de revenus R_i qu'ils consacrent à la consommation du bien privé x_i et à la contribution q_i au financement du bien public Q . Le prix du bien public est normalisé à 1, et le financement de la production se fait par l'ensemble des contributions :

$$Q = \sum_{j=1}^n (R_j - x_j).$$

Les conditions de premier ordre définissant l'optimum de l'agent correspondent à l'égalité entre le TMS et la pente de la droite de budget. La représentation graphique de la détermination de l'optimum de l'agent dans cet espace est la suivante :

Figure 3.5 : Equilibre de Nash dans l'espace (x_i, Q)



La formalisation des anticipations chez Sugden

L'anticipation des conjectures de la réponse des rivaux chez Sugden est décrite par l'expression suivante : $\left[\frac{dQ^a}{dx_i} \right]$. C'est-à-dire l'anticipation de la variation de la quantité de bien public produite consécutive à une modification de la consommation du bien privé par i , c'est-à-dire à revenu constant, une réduction de la même quantité de sa contribution q_i .

Or, cette expression est celle de la pente de la contrainte budgétaire de chaque agent qui peut s'écrire $R_i = x_i + q_i + Q_{-i}$ dans l'espace (x_i, Q) , comme le montre la figure 3.5. Les anticipations sont donc une interprétation individuelle et personnelle, une perception de la contrainte budgétaire, [*perceived budget constraints p.119*] par chaque agent.

$$(i) - \text{L'anticipation de Nash} : \left[\frac{dQ^a}{dx_i} \right] = -1$$

Les conditions de premier ordre définissant l'optimum de l'agent en Nash correspondent à l'égalité entre la tangente à la courbe d'indifférence en un point $f(x_i, Q)$ et la droite de budget dont la pente est égale à p , en l'occurrence -1. Les anticipations d'un agent sont interprétées de la façon suivante : toute augmentation d'une unité de la consommation du bien privé x_i , compte tenu de la contrainte budgétaire à l'égalité cela équivaut à une diminution d'une unité de la contribution q_i d'un agent, entraîne une réduction de la même quantité de la production de bien public. Autrement dit, le cas des anticipations en Nash exprime l'idée selon laquelle l'agent perçoit un système de "vase communicant" entre sa propre contribution et celle des autres agents. Sa contribution au bien public est une contribution marginale qui détermine le niveau ultime de la production du bien public. L'accroissement final de la quantité du bien public produite correspond, en quantité, exactement à la contribution de l'agent i (compte tenu de l'écriture formelle du bien public). En d'autres termes, la contribution Q_{-i} des autres est exogène.

$$(ii) - \text{L'anticipation de matching} : \left[\frac{dQ^a}{dx_i} \right] < -1$$

Lorsque $\left[\frac{dQ^a}{dx_i} \right] < -1$, l'agent anticipe un comportement de *matching* des rivaux.

Une réduction d'une unité de la consommation du bien privé, c'est-à-dire un accroissement d'une unité de la contribution devrait, compte tenu des croyances de *matching* des agents, conduire à une augmentation de plus d'une unité de la quantité de bien public. Autrement dit, la variation de Q , consécutive à un accroissement marginal de la contribution de i , est plus que proportionnelle.

$$(iii) - \text{L'anticipation offsetting : } \left[\frac{dQ^a}{dx_i} \right] > -1$$

Dans le cas d'une conjecture négative, $\left[\frac{dQ^a}{dx_i} \right] > -1$ signifie que l'agent i présume un comportement d'"offsetting". Une réduction d'une unité de la consommation du bien privé et donc un accroissement d'une unité de sa contribution aura pour conséquence un accroissement de la quantité de bien public inférieur à 1. Les rivaux ayant été supposés réagir, à la hausse de la contribution de i , par une réduction de Q_{-i} .

(iv) - Le modèle de Sugden [1985]

Le jeu de Sugden est un jeu symétrique. Dans ce cas, les conjectures des réponses espérées des n joueurs sont identiques. Notons $\left[\frac{dQ^a}{dx_i} \right] = \left[\frac{dQ^a}{dx^*} \right]$ la conjecture commune à l'ensemble des joueurs. Les conditions de premier ordre de la détermination de l'équilibre s'écrivent :

$$\left[\frac{dQ^a}{dx^*} \right] = f(x_i, Q). \quad (3.16)$$

Cette expression est celle de l'équilibre correspondant à des conjectures arbitraires (*arbitrary-conjectures equilibrium*) communes à l'ensemble des joueurs. Les conjectures des agents sont correctes lorsque $\left[\frac{dQ^a}{dx^*} \right] = \frac{dQ}{dx^*}$, c'est-à-dire lorsque l'anticipation de la réponse correspond à la réponse effective.

Soit i un joueur dont le comportement est considéré comme exogène. Supposons que les $(n-1)$ autres joueurs maximisent leur fonction d'utilité sur la base de leurs anticipations. Afin de déterminer si les conjectures des agents sont correctes, il est opportun de mesurer la variation de la production de bien public Q consécutive à une modification de la consommation de bien privé x^* de l'agent exogène.

Envisageons une variation δx^* de la consommation de bien public de l'agent exogène. Il s'ensuit une modification de l'offre de bien public δQ et une variation de la consommation de bien privé δx par les autres agents conduisant à un nouvel équilibre. Formellement :

$$\delta Q = \delta x^* - (n-1)\delta x, \quad (3.17)$$

écrit autrement lorsque la limite de δx^* tend vers zéro,

$$\frac{dQ}{dx^*} = \frac{-dQ/dx}{\left(dQ/dx\right) + n - 1}. \quad (3.18)$$

Du point de vue d'un des $(n-1)$ agents endogènes, de telles modifications l'amène à recalculer son optimum en fonction de ses propres anticipations des réponses. Il va donc être conduit à se déplacer le long de sa courbe de réaction $g(x, Q)$, c'est-à-dire sur le lieu

des points tel que le $TMS_{Q/x}$ est égal à $\left[\frac{dQ}{dx^*}\right]$. Autrement dit, $\frac{dQ}{dx} = g(x, Q)$ et l'équation

(3.18) peut s'écrire :

$$\frac{dQ}{dx^*} = \frac{-g(x, Q)}{g(x, Q) + n - 1}. \quad (3.19)$$

Cette expression de l'équilibre est valable quelles que soient les anticipations des agents. Si les deux biens public et privé sont des biens normaux, le sentier d'expansion de l'utilité dans l'espace (x, Q) s'oriente dans la direction du Nord (pour un accroissement de Q) et de l'Est (pour un accroissement de x), indiquant par là le sens de l'évolution de la fonction de réaction. Par conséquent $g(x, Q)$ a une valeur positive et finie. L'expression (3.19) est alors bornée : $-1 < \frac{dQ}{dx^*} < 0$. La réponse naturelle correspond à l'*offsetting*, quelles que soient les anticipations faites par les autres. Un accroissement de la contribution d'un agent conduit les autres membres de la société à réduire leur contribution, démontrant ainsi exactement le contraire de la proposition de Cornes et Sandler [1984].

La conclusion de l'auteur est la suivante : *"If people expect matching behaviour from their fellows, they are wrong* [Sugden 1985 p.120]." Les seules conjectures cohérentes et correctes sont les conjectures négatives. L'intuition de cette formalisation peut être décrite de la façon suivante : avec le temps, les individus finissent par se rendre compte des réponses négatives et ajustent à la baisse leurs contributions.

En outre, lorsque le nombre de joueurs n tend vers l'infini, la valeur de $\frac{dQ}{dx^*}$ tend vers zéro. Autrement dit, contrairement à la conclusion de Cornes et Sandler [1984], on s'éloigne de l'anticipation de Nash. Dans ce modèle, la limite correspond à la situation où

un accroissement de la contribution d'un agent est totalement compensé par une réduction de celle des autres membres, aggravant ainsi le phénomène du passager clandestin.

Pour résumer ce débat, selon Cornes et Sandler [1984] l'équilibre de Nash de la souscription volontaire à la production d'un bien public, eu égard à la formalisation des anticipations des agents, sous-estime le niveau final de production de bien public. Les individus ont plutôt tendance à avoir des anticipations de matching conduisant à se rapprocher l'optimum de Pareto. En revanche, pour Sugden, les conjectures positives sont impossibles. L'apparition de conjecture négative aura pour conséquence d'exacerber le phénomène du passager clandestin et de conduire à une production de bien public inférieure à celle qui prévaudrait à l'équilibre de Nash.

En conclusion il écrit, "*we cannot explain this phenomena (la contribution volontaire aux biens publics) in terms of the conventional theory. The faults of that theory are too deep to be corrected merely by changing the assumptions it make about conjectures.*" [Sugden 1985 p.123-124]. C'est une conclusion à laquelle Cornes et Sandler [1985 p.126] se rallient puisqu'ils écrivent à ce propos : "*We agree with Sugden, ...*", suivant en cela Atkinson et Stiglitz [1980, p.505] pour lesquels la contribution volontaire au biens publics "*(...) are perhaps not adequately captured by the kind of individualistic utility functions (...)*" Le *matching* ne peut s'expliquer par la maximisation de simples fonctions d'utilité en modifiant l'anticipation des agents [Sugden 1982, 1984, 1985, 1991, Cornes et Sandler 1985].

2.3.2 - Les modèles dynamiques

Des critiques sont adressées à l'ensemble de ces modèles de variations conjecturales. En résumé le principal reproche est celui de ne pas tenir compte de l'effet d'apprentissage des agents qui les pousse à corriger leurs anticipations dans le temps. Les modèles restant jusque là statiques, aucune considération n'est accordée à la cohérence des conjectures, ils ne tiennent pas compte de l'histoire du jeu et des expériences du passé.

La réponse à ces critiques ne va tarder. Fershtman et Nitzan [1991] proposent un modèle dynamique de contribution volontaire à la production d'un bien public. La

dynamique est introduite par le biais d'un jeu différentiel⁴³. Les agents poursuivent des stratégies parfaites de Markov⁴⁴. Cette formalisation des stratégies est une bonne description du comportement d'apprentissage des agents. A chaque pas de temps, l'agent recalcule sa stratégie optimale en tenant compte de l'observation de variables d'état qui résument l'information et les expériences du passé, c'est-à-dire de l'histoire du jeu. Les équilibres de Nash du jeu dynamique, obtenus en feedback ou en open-loop, sont tels que la production finale de bien public est inférieure à la production obtenue en équilibre de Nash statique. La dynamique, en tenant compte de l'observation de la contribution des autres, semble exacerber le phénomène du passager clandestin.

Wirl [1996] montre que les résultats obtenus par Fershtman et Nitzan [1991], i.e. un *free riding* exacerbé par la dynamique du jeu, sont imputables à la linéarité des stratégies et non aux exigences Markoviennes.

Itaya et Shimomura [2001] généralisent les résultats de Fershtman et Nitzan [1991] aux stratégies non-linéaires. En outre, ils montrent que, contrairement à l'affirmation de Sugden [1985] selon laquelle les agents ne peuvent former que des conjectures négatives, lorsqu'on tient compte du déroulement du jeu dans le temps, et sous certaines conditions, des comportements de *matching* apparaissent. Les agents peuvent par conséquent former des anticipations de réponse positives, sans se tromper. La conclusion de Sugden remettant définitivement en cause le modèle utilitariste conventionnel ne tient plus.

Quoi qu'il en soit, l'ensemble de ces auteurs, avec bien d'autres [Guttman 1978, Shilony 2000], s'accordent à reconnaître que le *matching* est bien un phénomène que l'on observe dans la réalité. Mais alors, si les anticipations des agents n'expliquent pas ce phénomène, comment l'interpréter ?

On retrouve, dans la littérature, des interprétations alternatives à l'anticipation des agents. Les agents peuvent être altruistes [Mahieu et Rapoport 1998, Ballet 2000], ou alors ils sont mus par une éthique morale, la morale Kantienne [Laffont 1975, Bilodeau et

⁴³ Les jeux répétés constituent également un moyen d'étudier l'évolution des comportements des agents dans les modèles de contributions volontaires [McMillan 1979]. Mais, dans ces formalisations, si les stratégies se modifient bien avec le temps, il est impossible pour les agents de modifier leur stratégie une fois la première période du jeu achevée, i.e. au cours du jeu. Les stratégies sont définies initialement. L'introduction de l'équilibre parfait de Markov, rend en revanche parfaitement compte de la dynamique d'une situation puisque chaque joueur recalcule sa stratégie optimale à chaque étape du jeu, en tenant compte d'un certain nombre de variables stratégiques.

⁴⁴ Un équilibre parfait de Markov est un profil de "stratégies Markov" qui conduit à un équilibre de Nash dans chaque sous-jeu propre.

Gravel à paraître] étant celle qui est la plus souvent évoquée, ou encore ils agissent par réciprocité [Sugden 1984] au sens d'un engagement conditionnel.

SECTION 3 : LES INTERPRETATIONS DE LA PARTICIPATION VOLONTAIRE A L'ACTION COLLECTIVE

3.1 - L'altruisme⁴⁵

3.1.1 - Formalisation de la fonction d'utilité d'un altruiste

L'interprétation altruiste de la participation volontaire des individus à une action collective repose sur la représentation formelle suivante : l'internalisation de l'utilité de l'individu j dans la fonction d'utilité de l'individu i. Ce qui fait de chaque agent une forme de bien collectif.

La fonction d'utilité d'un individu altruiste aura la forme suivante : $u_i(x_i, x_j)$, la variable x_j représente l'utilité de l'individu j (sa consommation, son revenu). On dira que i est bienveillant si $\frac{\partial u_i}{\partial x_j} > 0$, malveillant si $\frac{\partial u_i}{\partial x_j} < 0$ ou égoïste si $\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0$. Mais, représenter le souci envers autrui est en revanche plus délicat lorsqu'il s'agit de bien collectif, $u_i(x_i, Z)$ et $u_j(x_j, Z)$, $z_i = z_j = Z$. Il est impossible de différencier entre un individu seulement préoccupé par son intérêt personnel, et un individu altruiste envers j ayant une préférence pour la consommation de Z par j, Z n'étant disponible que pour une catégorie de personnes. On supposera alors que les biens collectifs sont financés par les contributions volontaires q_i des altruistes avec $Q = \sum_i q_i$, ($i = 1, \dots, n$). Alors l'utilité de l'altruiste i peut s'écrire : $u_i(x_i, q_i^Z)$ avec q_i^Z la contribution de i au bien collectif Z, ou alors $u_i(x_i, Q)$, interprétée comme une préférence des individus pour l'existence d'un bien collectif Z destiné aux individus j et financé par la somme des contributions Q.

⁴⁵ L'altruisme connaît deux acceptions. La première est une version sociologique moralisatrice accordant la bienveillance et opposant l'altruisme à l'égoïsme, tandis que la seconde est une version philosophique d'inspiration Kantienne revendiquant l'universalité sans aucune valeur morale a priori [Mahieu 1998].

Cette dernière écriture suppose une motivation particulière de i , l'individu n'a une préférence que pour la somme totale des contributions. Il considère la sienne comme substituable à celle des autres. Il est alors qualifié d'altruiste pur, puisqu'il n'a aucune autre motivation que l'atteinte d'un niveau de bien être pour les autres individus.

Mais les motivations peuvent être multiples et diverses. L'acte de donner peut procurer une satisfaction personnelle, il procure un sentiment d'aise. Dans ce cas, un argument supplémentaire q_i qui relève de l'intérêt privé est introduit dans la fonction d'utilité $u_i(x_i, q_i, Q)$. L'altruisme est alors qualifié d'impur⁴⁶ [Andreoni 1989, 1990].

Sen [1977] proposent une conception morale de l'altruisme : $u_i(x_i, q_i^*, Q)$.

L'argument q_i^* correspond à la participation minimale jugée nécessaire pour le bien être d'autrui ou pour faire progresser la cause défendue. C'est une participation personnelle, indépendante de la participation des autres et qui correspond à une action qui n'a aucune autre satisfaction que morale, telle que la participation à des élections. Les individus agissent sur la base de principes moraux, ils ont un sens des responsabilités sociales.

Mais, l'altruisme est-il plus apte à financer, sans intervention de l'Etat les biens collectifs ? En d'autres termes, ce modèle apporte-t-il une solution au problème du passager clandestin ?

3.1.2 - Les hypothèses du modèle d'altruisme pur à l'origine de l'inefficacité de celui-ci

Le modèle d'altruisme pur généralisé repose sur quatre hypothèses [Ballet 2000].

H1 : la fonction d'utilité d'un altruiste a la forme suivante $u_i(x_i, Q)$. Sa satisfaction dépend de deux arguments. Le bien privé x et le bien public Q destiné à une certaine catégorie d'individu.

H2 : Les altruistes, comme dans les modèles utilitaristes classiques, maximisent une fonction d'utilité dans l'objectif de déterminer leur contribution optimale.

H3 : dans la théorie des biens publics, les fonctions d'utilité quasi-linéaires sont une condition nécessaire pour que l'allocation efficace de bien public soit indépendante des revenus. Par conséquent, dans l'objectif d'éliminer l'influence de la richesse des agents

⁴⁶ Andreoni utilise également le terme de "Warm-Glow giving".

altruistes dans la détermination de leur contribution optimale et de centrer la décision sur le bien public, les fonctions d'utilité des altruistes sont des fonctions quasi-linéaires.

H4 : L'analyse est en termes d'équilibre de Nash et par conséquent la conjecture de la réponse des autres membres est une conjecture de Nash, $\frac{dQ}{dq_i} = 0$. Chaque individu considère les contributions des autres agents comme exogènes et sur lesquelles il n'a aucune influence. La justification de cette hypothèse réside dans le fait que la contribution de l'altruiste est uniquement fonction de son propre désir, sa propre utilité marginale et non de l'utilité marginale des bénéficiaires du bien public. Paradoxalement, l'altruiste pur est mû par son intérêt personnel. En outre, cette contribution se "*dilue*" dans la masse totale de l'ensemble des contributions et il lui est difficile de mesurer l'effet de sa propre participation dans la production du bien public

Sugden [1984] rejette ces formalisations de l'interprétation du phénomène de la participation des individus à une action collective. Celles-ci supposent que les altruistes retirent une utilité du bien être d'autres individus. Ce qui fait du bien être de chaque individu un bien public, c'est un "*retour à la case départ*" dans la mesure où on ne parvient pas à expliquer pourquoi certains individus ne se comportent pas en passager clandestin.

En outre, que ce soit l'altruiste pur qui ne se soucie que du niveau du bien être des autres, l'altruiste impur ou moral qui a un souci à l'égard de sa propre contribution, les motivations sont représentées par un ou deux arguments supplémentaires dans la fonction d'utilité. Cette hypothèse du modèle de l'altruisme généralisé - l'intégration d'un argument dans la fonction d'utilité de l'altruiste représentant le bien collectif - est la généralisation au calcul économique en présence d'Autrui, de la représentation du système de préférence par une fonction d'utilité continue. Cette hypothèse conventionnelle est discutable dès lors que le calcul ne s'effectue plus seulement sur les biens, "*le calcul sur les autres peut impliquer des priorités*" [Ballet 2000 p. 795].

Par ailleurs, l'observation de la formalisation de l'altruisme nous conduit à la conclusion suivante. Si, parce qu'elles portent sur des individus et non sur des biens, les interprétations des motivations des altruistes sont différentes, il n'en reste pas moins que le modèle de l'altruisme pur généralisé est, à l'hypothèse H3 près, identique à celui des modèles traditionnels de contribution volontaire à l'offre de bien public. Les interprétations des agissements des agents, i.e. leurs motivations, sont certes différentes, mais les

comportements, i.e. leurs stratégies, sont identiques. L'altruiste pur faisant une conjecture de Nash sur les contributions des autres, il va donc contribuer à un niveau inférieur à celui requis par l'optimum de Pareto. Plus le nombre d'agent augmente, et plus la contribution individuelle de chaque altruiste diminue. La pente de la fonction de réaction d'un altruiste est identique à celle de n'importe quel autre agent Nash ordinaire qui contribue à un bien public, c'est-à-dire négative. Le résultat de ce modèle est sans surprise, il conduit à l'inefficacité de la participation volontaire pour le financement de bien public, et, paradoxalement, l'altruisme pur ne peut se passer, dans ces conditions, de l'intervention de l'Etat. Même si les motivations sont différentes, des comportements identiques conduisent aux mêmes résultats.

3.2 - La rationalité Kantienne

3.2.1 - L'impératif catégorique

Une approche différente de la précédente revient à supposer que les agents peuvent être conduits à agir selon un principe moral. Ils sont guidés par des considérations éthiques. Cette approche suppose que les individus peuvent être, dans certaines circonstances, mus par une rationalité différente de celle que l'on impute traditionnellement à l'"*homo economicus*". Les motivations éthiques font partie des aménagements de la rationalité des agents que les économistes étudient comme solution au phénomène du passager clandestin. Le principe le plus fréquemment évoqué dans la littérature économique est le *principe l'impératif catégorique Kantien*. "*Agis uniquement d'après la maxime qui fait que tu peux vouloir en même temps qu'elle devienne une loi universelle*".

Kant [1785] illustre par cette formule le devoir correspondant à l'impératif catégorique. L'auteur fait une analogie avec les lois de la nature, afin que l'on puisse se représenter concrètement ce qu'est une action moralement bonne. Les lois de la nature sont générales. Elles sont les mêmes à toutes les époques et en tous les lieux. Elles ne rencontrent aucune exception, elles sont universelles. Autrement dit, ce que cette analogie avec les lois de la nature signifie, c'est que pour établir ce que nous devons faire, pour agir moralement, nous devons soumettre notre maxime (principe subjectif et particulier d'après lequel nous voulons agir) à un test d'universalisation. Il faut, pour être impartial, agir sans prendre en compte aucun intérêt, aucun désir, exclure toute considération matérielle relative à la vie bonne d'un sujet empirique particulier. L'impératif catégorique donne

donc un critère formel de cohérence qui commande de vérifier s'il est possible d'universaliser notre maxime sans contradiction. Il faut se demander si la règle d'action qu'on se donne peut devenir la règle de tout homme placé dans la même situation. Si oui, c'est qu'on est en présence d'une loi morale. Dans le cas contraire, cela signifie qu'on veut faire une exception pour soi.

3.2.2 - Formalisation de la morale Kantienne

C'est à Laffont [1975] que l'on doit l'introduction de la formalisation de l'impératif catégorique en économie. L'auteur postule dans son modèle que chaque agent suppose que les autres individus vont agir de façon identique à lui, puisqu'il sait que tous les agents sont Kantiens. L'identité des stratégies correspondant à l'égalité des contributions. Chaque agent maximise donc son utilité sous cette contrainte. Cette hypothèse est équivalente à une modification, par rapport au modèle traditionnel, des anticipations de la réponse, $\frac{dQ}{dq_{-i}} \neq 0$, i.e. une déviation de la conjecture de Nash. En effet, à chaque contribution d'une unité, l'agent i anticipe de la part de chaque autre agent, une contribution identique.

Il montre que le problème de l'exclusion d'usage des biens publics peut être résolu lorsque les agents se conforment à la morale Kantienne. L'agent Kantien maximise une fonction d'utilité sous la contrainte morale de l'impératif catégorique. Appliqué au problème de non-exclusion d'usage en économie publique, l'impératif catégorique suggère que chaque individu contribue au financement d'un bien public à la hauteur de la contribution qu'il souhaiterait de chaque personne qui bénéficie de son utilisation.

Soit G le groupe des individus bénéficiaires du bien public en question. Offrons à l'individu i appartenant à G la possibilité de déterminer le niveau de l'effort q_i^* de chaque membre de G . L'obligation de contribution de i à l'effort de production ou de financement du bien public est alors au moins de q_i^* , en l'occurrence à $\left(\frac{1}{n}\right)^{\text{ième}}$ du coût du bien public puisque le jeu est symétrique, les agents sont identiques, dotés des mêmes ressources et ayant les mêmes préférences.

Cette obligation de contribution est indépendante du fait que les autres agents contribuent ou pas.

3.2.3 - *Kantisme ordinaire et Kantisme authentique*

Wolfesperger [1999] conteste l'utilisation de l'impératif catégorique Kantien par les économistes. L'auteur distingue l'utilisation qui en est faite par ces derniers qu'il qualifie de "*Kantisme ordinaire*" et qui n'est qu'une "*vulgarisation*" [Bordignon 1990] de la pensée de Kant, de la version plus rigoureuse et respectueuse des textes de base qu'il qualifie de "*Kantisme authentique*". Cette popularité de l'impératif catégorique est en outre *paradoxale* puisque la philosophie des économistes penche plutôt vers l'utilitarisme.

Dans une situation hypothétique qui serait celle d'un institutionnel innovateur qui inciterait les agents à tenir compte d'une contrainte éthique dans leur comportement, la solution Kantienne est impraticable compte tenu de la spécificité de la morale Kantienne. En effet, dans la rationalité morale de Kant, l'impératif est catégorique et non hypothétique et encore moins instrumental. L'impératif est catégorique lorsque l'action que commande l'impératif à ma volonté est représentée comme bonne en soi, sans rapport à une fin autre qu'elle-même. Or, la formalisation de l'impératif catégorique Kantien en économie correspond à la maximisation d'une fonction d'utilité sous contrainte, elle est guidée par l'intérêt. C'est grâce à l'impératif catégorique que les agents atteindront l'optimum parétien qu'ils souhaitent. Il s'agit dans ce cas d'un recours à un Kantisme occasionnel. En outre, le comportement reste stratégique et dépend du comportement des autres. La levée de l'hypothèse d'agent identique, si les autres agents respectent le principe Kantien, fait qu'il est alors plus rationnel et plus profitable de se comporter en passager clandestin.

Par ailleurs, Wolfesperger [1999], Bilodeau et Gravel [à paraître] réfutent la formalisation traditionnelle de l'universalisation qui tente de justifier la portée générale du Kantisme ordinaire. En effet, dans ces formalisations, les agents sont identiques et ont les mêmes préférences, le jeu est unique, il n'existe que deux stratégies et les gains associés à chaque cas possible sont connus de tous. A tous les coups, la solution Kantienne permet d'atteindre la solution parétienne. La solution est triviale. Il n'est donc pas possible, dans ces conditions, de résoudre le problème du passager clandestin inhérent aux biens publics par la solution Kantienne.

Bilodeau et Gravel [à paraître] répondent à cette critique. Les auteurs généralisent les travaux de Laffont [1975] et Bordignon [1990] puisque les agents peuvent être différents par leurs préférences et/ou par leurs dotations. Les auteurs précisent qu'il s'agit de la formalisation du Kantisme ordinaire.

3.2.4 - Le modèle de Bilodeau et Gravel [à paraître]

3.2.4.1 - Définition et formalisation d'une maxime

Avant de formaliser une maxime, les auteurs commencent par définir un système de correspondance entre les actions (stratégies) des agents. Cette correspondance est un système d'universalisation "*system of universalization*", une relation d'équivalence morale entre les actions d'individus différents. Ce système d'équivalence est une donnée de référence.

Soit le jeu défini sous la forme stratégique suivante : $G = \{N, \times_{i=1}^n S_i, <V_i>_{i=1}^n\}$, avec $N = \{1, \dots, n\}$ le nombre de joueurs, S_i l'ensemble des stratégies du joueur i et $V_i : \times_{j=1}^n S_j \rightarrow \mathbb{R}$ la fonction de paiement de l'individu i . On note $S_{-i} = \times_{j \neq i} S_j$ l'ensemble de toutes les combinaisons de stratégies que les autres joueurs peuvent jouer, et $(s_i, s_{-i}) \in S_i \times S_{-i}$ la combinaison de stratégies de i et des autres joueurs.

Définition 3.1 : Un système d'universalisation est une relation d'équivalence M sur

$\bigcup_{i \in N} \{i\} \times S_i$ satisfaisant la propriété suivante :

$$\forall i, j \in N, \forall s \in S_i, E_M(i, s) \cap \{j\} \times S_j \neq \emptyset.$$

$E_M(i, s)$ définit l'ensemble de toutes les stratégies *moralelement équivalentes* à la stratégie s de l'individu i . L'écriture $(i, s) M (j, s')$ signifie que la stratégie s de l'individu i est moralelement équivalente à la stratégie s' de l'individu j . La relation d'équivalence M est par définition réflexive, symétrique et transitive.

Cette définition de l'équivalence morale reste cependant trop large, dans la mesure où il peut exister dans l'ensemble des stratégies d'un agent j , plusieurs stratégies moralelement équivalentes entre elles ou moralelement équivalentes à plusieurs stratégies d'un autre agent i . Une contrainte supplémentaire doit être rajoutée pour restreindre l'ensemble des stratégies moralelement équivalentes. La contrainte supplémentaire $E_M(i, s) \cap \{j\} \times S_j \neq \emptyset$ implique qu'il existe, pour chaque individu, au moins une stratégie moralelement équivalente dans l'ensemble des stratégies de chacun des autres agents.

Définition 3.2 : Un système d'universalisation M sur $\bigcup_{i \in N} \{i\} \times S_i$ est serré (*tight*) si, pour tout $i \in N$ et pour tout $s \in S_i$, le système satisfait la relation suivante :

$$E_M(i, s) \cap \{j\} \times S_j = 1$$

Le système est donc serré lorsque, pour toute stratégie d'un individu, il existe une stratégie moralement équivalente et une seule dans l'espace des stratégies des autres agents. Cette restriction est importante car si les ensembles de stratégies des joueurs n'ont pas la même "cardinalité", un système d'universalisation serré ne peut pas exister.

Un système d'universalisation serré peut être représenté par des fonctions au lieu de correspondances.

Définition 3.3 : Une maxime est un sous-ensemble μ de $\times_{i=1}^n S_i$.

Une maxime est donc une restriction sur les ensembles des stratégies des agents. C'est une règle qui interdit aux agents de jouer certaines stratégies. La maxime "*contribuez au moins 10% de votre revenu*" contraint les agents à choisir dans leur ensemble des stratégies celles qui consistent à contribuer 10% de leur revenu ou plus. Une maxime est qualifiée de *stricte* lorsqu'elle ne laisse plus de choix à l'agent. Elle contraint l'individu à une seule stratégie, comme par exemple : "*contribuez 10% de votre revenu*". La maxime est *stricte* lorsque $\mu = 1$, elle va au-delà de l'interdiction, elle prescrit une stratégie.

Définition 3.4 : Une maxime stricte est une maxime qui prescrit, c'est-à-dire :
 $\mu = 1$

3.2.4.2 - Formalisation d'une maxime Kantienne

Les auteurs proposent la définition suivante du Kantisme. Une maxime, pour être Kantienne, doit satisfaire deux propriétés. L'Equivalence Morale et la Rationalité Universalisée.

(i) L'Equivalence Morale

La première propriété est celle du traitement égal des agents, eu égard à leurs différences. C'est la prescription (maxime stricte $\mu = 1$), d'action moralement équivalente (appartenant à l'ensemble $E_M(i, s)$).

Propriété 3.1 (Equivalence Morale) : $\forall s \in \mu, (i, s_i) M (j, s_j) \forall i, j \in N$

Afin d'illustrer les définitions et les propriétés ci-dessus, nous supposons deux agents Kantien I et P contribuant à l'offre d'un bien collectif. Ils se différencient par leurs dotations initiales et/ou leurs préférences. Supposons également que le système d'universalisation soit, à l'instar de celui des premiers auteurs ayant formalisés la rationalité Kantienne "*une contribution d'un montant identique pour tous*" (définition 3.1). Ce système est un système d'universalisation serré puisque deux stratégies d'un même agent ne peuvent pas être moralement équivalentes, et l'intersection avec les stratégies moralement équivalentes d'un autre agent est un singleton (définition 3.2).

Les actions considérées comme moralement équivalentes, sont celles qui correspondent à des contributions identiques.

La règle "*contribuez au moins 10 % de votre revenu*" est une maxime (définition 3.3), mais elle n'est pas une maxime stricte, puisqu'elle ne prescrit pas une stratégie, elle restreint l'ensemble des stratégies,.

La maxime "*contribuez 10 % de votre revenu*" est une maxime qui prescrit (définition 3.4), puisque $\mu = 1$. En revanche, cette maxime ne satisfait au système d'universalisation ("*une contribution d'un montant identique pour tous*"), que lorsque les dotations des agents sont identiques (propriété 3.1).

Lorsque $R_I \neq R_P$, les stratégies prescrites n'appartiennent plus au système d'universalisation. Lorsque les dotations des agents sont différentes, la maxime "*contribuez 10 euros*" pourrait, si cette stratégie appartient à l'ensemble des stratégies réalisables de tous les agents, respecter le système d'universalisation .

(ii) La Rationalité Universalisée

La seconde propriété que doit satisfaire une maxime pour être qualifiée de Kantienne est en rapport avec l'universalité. L'impératif catégorique suggère en effet que chaque agent agisse d'après la maxime qu'il voudrait ériger en loi universelle. L'agent va par conséquent déterminer la maxime qui lui procure le plus grand bénéfice, compte tenu de ses croyances sur les stratégies moralement équivalentes jouées par les autres.

Propriété 3.2 (Rationalité Universalisée) : $\forall i \in N, \forall s \in \mu$,

$$\int_{E_M(i, s_i) \setminus \{i\} \times S_i} V_i(s_i, s_{-i}) \Pi_i^{s_i} ds_{-i} \geq \int_{E_M(i, \bar{s}_i) \setminus \{i\} \times S_i} V_i(\bar{s}_i, \bar{s}_{-i}) \Pi_i^{\bar{s}_i} d\bar{s}_{-i}$$

$\forall \bar{s}_i \in S_i$, avec $\Pi_i^{\bar{s}_i}$ la mesure des croyances de Borel sur $E_M(i, s_i) \setminus \{i\} \times S_i$

La maxime déterminée par chaque agent, c'est-à-dire celle que chaque agent souhaiterait ériger en loi universelle, doit convenir à tous. En d'autres termes, elle doit remporter l'adhésion de tous, compte tenu de leurs différences. En l'occurrence, la maxime, pour qu'elle soit universelle, doit prescrire à chaque agent i , parmi l'ensemble des stratégies moralement équivalentes $E_M(i, s_i)$, celle qui lui procure le paiement le plus élevé.

Définition 3.5 : Une maxime $\mu \subseteq \times_{i \in N} S_i$ est dite Kantienne, s'il existe un système d'universalisation M satisfaisant la propriété d'Equivalence Morale et de Rationalité Universalisée

Supposons que l'on demande à nos deux agents I et P, de sélectionner, à l'aune du système d'universalisation, la contribution, identique pour les deux, qu'ils souhaiteraient ériger en loi universelle. Il est fort probable que le premier agent souhaite une contribution individuelle et universelle de 50 euros, alors que le second, moins argenté, demande une contribution de 10 euros par agent. Il n'existera dans ce cas aucune maxime Kantienne à l'aune de ce système d'universalisation.

A l'interrogation de l'existence d'une maxime Kantienne au sens définie ci-dessus, "*dans l'exemple canonique du passager clandestin en économie publique*" les auteurs répondent que, "*lorsque le système d'universalisation est serré et différentiable, toute maxime Kantienne est pareto-optimale. Dans cette classe de jeu, il existera toujours au moins un système d'universalisation serré et différentiable.*"⁴⁷

⁴⁷ Le lecteur trouvera la démonstration dans : Bilodeau et Gravel, [à paraître].

L'intuition "*utopique*" de Samuelson [1954]⁴⁸ est démontrée, y compris en l'absence de symétrie, et le résultat de Laffont [1975] est généralisé. La maxime Kantienne qui répond à la difficulté inhérente aux biens publics est la suivante : "*contribue à la hauteur de ton montant correspondant à l'équilibre de Lindahl*"⁴⁹.

Mais quelle que soit la formalisation de la morale Kantienne, l'engagement demandé à chacun est inconditionnel, difficilement concevable, inique, et moralement insoutenable [Sugden 1984], parce qu'il impose d'aider les autres bénéficiaires du bien public, même si ces derniers se comportent en passagers clandestins. En outre, Bilodeau et Gravel [à paraître] admettent qu'il est difficile d'inciter les agents à obéir à la maxime Kantienne pour deux raisons principalement. En effet, d'une part les auteurs écrivent à la page 19 : "*no one can gain by unilaterally obeying a Kantian maxim since the maxim constrain him to choose his best response from a smaller strategy set*" ; et d'autre part, la question de l'information de chaque agent, de ce que pourrait être sa contribution correspondant à son équilibre de Lindahl⁵⁰, est difficilement soluble.

3.3 - Le respect d'un principe moral de coopération [Sugden 1984]

Sugden [1984] propose une version affaiblie de l'impératif catégorique. Le principe de réciprocité - *principle of reciprocity* - peut être interprété comme un engagement moral à la hauteur de la satisfaction retirée du bénéfice du service public, mais assujéti au respect du même engagement par les autres membres, i.e. compte tenu de la contribution des autres. L'engagement moral n'est plus inconditionnel, mais conditionné à la participation des autres bénéficiaires du bien public.

Cette hypothèse repose sur l'idée selon laquelle la majorité des individus pensent que le "*free riding*" est moralement condamnable. Il s'agit là non plus d'une moralité universelle telle que la précédente, mais plutôt d'une moralité de coopération. En d'autres termes, si l'ensemble des individus bénéficiaires d'un bien public contribuent au financement de celui-ci, l'individu *i* est moralement incité à faire de même, c'est à dire à

⁴⁸ C'est en effet Samuelson [1954] qui a l'intuition d'agents Kantiens, mais il qualifie cette proposition d'utopique "... no decentralized pricing system can serve to determine optimally these levels of collective consumption. Other kind of voting or signalling would have to be tried (...). Of course, utopian voting and signalling can be imagined. ('Scandinavian consensus', Kant's categorical imperative', and other devices meaningful only under conditions of symmetry", etc...). Samuelson [1954, p. 389].

⁴⁹ "Contribute your Lindahl equilibrium amount", [Bilodeau et Gravel, à paraître].

coopérer. Toutefois, la formalisation du principe de réciprocité n'échappe pas aux critiques émises par Wolfesperger [1999], Bilodeau et Gravel [à paraître], à savoir que les agents sont identiques et le jeu est symétrique.

3.3.1 - Le principe de réciprocité

Soit G un groupe ou une communauté à laquelle appartient i . Supposons que tous les membres de cette communauté, excepté i , contribuent q_j au financement du bien public. Offrons la possibilité à i de déterminer le niveau d'engagement q_i^G unique qu'il souhaiterait de chaque membre de G , en d'autres termes, la maxime qu'il souhaiterait ériger en loi universelle. q_i^G est le niveau de l'effort qui maximise la satisfaction de l'individu i . Si ce niveau est supérieur ou égal à l'effort fourni par les autres membres de la communauté $q_i^G \geq q_j$, alors dans ce cas, et seulement dans ce cas, l'individu i a une obligation morale envers le groupe d'individus auquel il appartient de fournir un effort, ou de contribuer au financement du bien public, au moins égal à q_j . Pour l'auteur, il s'agit d'une forme de moralité pratique – *practical morality*. La définition du groupe reste imprécise chez Sugden. Il peut s'agir d'un groupe national, international, politique ou religieux.

Engagement conditionné

L'engagement de chaque agent est, par rapport à la morale Kantienne, désormais conditionné. L'agent i ne contribuera qu'à deux conditions : (a) que le niveau d'effort que lui suggère sa rationalité individuelle soit supérieur au niveau d'effort général, (b) que les autres membres de la communauté à laquelle il appartient s'engagent dans la coopération réciproque. Même lorsque certains individus refusent de contribuer, l'agent i a toujours une obligation envers ceux qui ne se comportent pas en passagers clandestins.

Formalisation de la contrainte : soient $\mathbf{q}$ un vecteur de contribution donné, G le groupe d'individus, et $i \in G$. L'agent i remplit son obligation envers sa communauté G , si et seulement si $q_i \geq q_i^G$, c'est-à-dire si sa contribution effective est supérieure ou égale à

⁵⁰ "... the conditions for this to happen are fairly stringent (...) individuals must have enough information to at least be able to figure out what their Lindahl Equilibrium contribution" would be." [Bilodeau et Gravel 2002, p.19]

celle qu'il souhaiterait ériger en loi universelle. Or, comme par hypothèse chaque agent maximise son utilité sous contrainte de respect de réciprocité envers le groupe G , et comme l'agent i appartient lui-même au groupe G , i a une obligation envers lui-même. Il est possible d'interpréter cette condition comme la contrainte imposant à chaque agent d'être en accord avec ses principes. Formellement, la contribution de l'agent est au moins de $q_i = q_i^G$. Le respect de la réciprocité consiste par conséquent à rajouter la contrainte $q_i \geq q_j$, pour tout autre $j \in G$, au programme de l'agent.

Affaiblissement de l'impératif catégorique

L'impératif catégorique Kantien est ainsi deux fois affaibli.

Sur l'obligation morale elle-même, elle n'est plus inconditionnelle, mais assujettie au respect de la même obligation par les autres membres de la communauté. C'est une obligation de réciprocité dans la coopération. Elle n'est plus non plus universelle, mais restreinte à la communauté à laquelle appartient l'agent. L'obligation morale consiste à ne pas adopter un comportement de passager clandestin, lorsque les autres agents ne le font pas.

Sur le niveau de l'effort à fournir. Ce niveau d'effort est fonction du niveau de la contribution des autres membres du groupe. Si la rationalité individuelle de l'agent i lui dicte un niveau d'effort q_i^G supérieur à q_j , alors i n'est redevable à sa communauté que du montant q_j . Il peut éventuellement fournir plus, mais l'obligation de réciprocité se limite à q_j . C'est un alignement sur le moins disant.

3.3.2 - Le modèle et ses équilibres

La fonction de production du bien public à la forme linéaire suivante :

$Q = \beta \sum_i q_i$, $i=1, \dots, N$, et l'utilité de chaque agent est une fonction croissante de la consommation de Q . q_i est la contribution de chaque agent i au financement du bien public. Cet argument mesure l'effort de chacun à la production de bien public. L'utilité de chaque agent est par conséquent une fonction décroissante de q_i .

Les préférences des agents sont représentées par la fonction d'utilité $u_i = u_i(q_i, Q)$,

$i=1,...,N$, sont supposées identiques. Par conséquent, $h_i(q_i, Q) = -\frac{\partial u_i / \partial q_i}{\partial u_i / \partial Q}$, qui désigne le

taux marginal de substitution entre q_i et Q , est identique pour $i=1,...,N$, avec

$\frac{\partial u_i}{\partial q_i} < 0$ et $\frac{\partial u_i}{\partial Q} > 0$. Nous supposons également, $\frac{\partial (h_i(q_i, Q))}{\partial q_i} > 0$ et $\frac{\partial (h_i(q_i, Q))}{\partial z} > 0$,

pour $i=1,...,n$ ⁵¹.

Etant donnée la symétrie du problème, il est alors possible d'écrire la fonction de production du bien public sous la forme suivante : $Q = \beta N q_i, i=1,...,N$.

Le programme de maximisation de l'agent i respectant la contrainte de réciprocité est le suivant :

$\max_{q_i} u_i = u_i(q_i, \beta N q_i)$ sous contrainte de :

$$\begin{cases} Z = \beta \left[q_i + \sum_{j \neq i} q_j \right] \\ q_i \geq q_j \end{cases}.$$

Un équilibre est un vecteur de contributions $\mathbf{q}$ tel que tout agent, étant données les contributions q_j de chacun des autres membres du groupe G , q_i est la plus faible contribution compatible avec les obligations des tous les agents.

Sugden⁵² montre qu'il existe, pour ce modèle, un continuum d'équilibre pour des contributions q_i comprises entre deux bornes, une borne inférieure q_i^* telle que $h_i(q_i^*, Z) = \beta$ et une borne supérieure q_i^O telle que $h_i(q_i^O, Z) = \beta N$.

⁵¹ Traditionnellement, en présence de biens normaux, la diminution des taux marginaux de substitution est l'expression de la convexité des préférences. Sugden [1985] formalise le principe de réciprocité avec un bien normal et un "bad" q_i , exprimant l'effort. L'utilité des agents est croissante de l'argument Q et décroissante de l'argument q_i . La convexité des préférences est dans ce cas exprimée par l'accroissement des taux marginaux de substitution.

⁵² Le lecteur trouvera la démonstration dans Sugden, 1984.

La borne supérieure, un équilibre parétien : $q_i^O / h_i(q_i^O, Z) = \beta N$

La solution q_i^O est la contribution de chaque agent à la production du bien public Z qui maximise le bien-être collectif. L'équilibre correspond donc à une production pareto-optimale du bien public. C'est le niveau de contribution que chaque agent voudrait ériger en loi universelle.

La borne inférieure : un équilibre de Nash $q_i^* / h_i(q_i^*, Z) = \beta$

q_i^* est une borne inférieure, car toute contribution $q_i < q_i^*$ ne maximise pas la satisfaction de i, ne respecte la rationalité individuelle et s'avère donc incompatible avec le programme puisque son intérêt personnel lui dicte une contribution supérieure. Dans ce cas, la borne inférieure correspond à un équilibre de Nash pour lequel, tous les agents respectent leur obligation de réciprocité, mais en ne contribuant qu'au minimum de cette obligation au financement du bien public.

Entre ces deux bornes, le programme admet un continuum d'équilibre pour des contributions $q_i^* < q_i < q_i^O$. Dans chacun de ces équilibres de Nash, chaque agent contribue au financement du bien public, en respectant son obligation de réciprocité. Toutefois, chacun de ces agents serait prêt à contribuer davantage, mais aucun ne serait prêt à franchir le premier pas. Ces situations correspondent à des situations opposées à celle du dilemme du prisonnier à n personnes et pour lesquelles aucun agent n'est disposé à contribuer plus que ce qu'il ne fait, même lorsqu'il sait que les autres le feraient. Le problème du passager clandestin se transforme en l'inverse d'un problème d'assurance. Dans ces conditions, la transparence sur la contribution des autres pourrait résoudre ce dilemme.

S'agissant de la contribution à notre bien public tel que défini dans la section 1 de ce chapitre, i.e. le service de la gestion des infrastructures de fourniture de l'eau, cette contribution correspondrait à la disposition à payer de chaque Etat ou région pour bénéficier d'une institution internationale chargée de la gestion des ressources qui fonctionnerait de façon optimale. Une contribution inférieure à q_i^O conduirait à une gestion inefficace du système, et donc à une allocation en eau inférieure à celle qu'un Etat aurait pu avoir en situation pareto-optimale. Il serait donc de l'intérêt de chaque acteur de contribuer d'un niveau q_i^O . En outre, dans la mesure où notre institution internationale est chargée de

la gestion de la ressource à l'échelle du bassin versant, les contributions q_i des Etats inférieures à q_i^O , conduiraient à une exploitation de la ressource d'autant plus anarchique que l'on s'éloigne de q_i^O . Cette situation se traduirait par une dégradation de la ressource, voire par son épuisement pour des contributions $q_i = q_i^*$.

SECTION 4 : LES DETERMINANTS DE LA RECIPROCITE : UN MODELE

Nous proposons une formalisation de l'offre de bien public à notre cadre international en nous appuyant sur des résultats issus de recherches en science politique autour des conflits et de la coopération sur les cours d'eau internationaux [Naff et Naff et Naff et Matson 1984, Frey 1993, Anderson 1994, Wolf 1996, Zarour et Isaac 1993, LeMarquand 1977].

Ces modèles de gestion des conflits sur les cours d'eau internationaux - le MATS (Multi-Attribute TradeOff System), l'ADR (Alternative Dispute Resolution) ou le PIN (Process of International Negotiation) - permettent de mettre en exergue des facteurs qui incitent à la coopération. Parmi les facteurs de politique étrangère qui peuvent inciter un Etat à ne pas user de la force et à s'engager dans une coopération, deux nous intéressent particulièrement.

Le premier facteur est la réciprocité, interprétée comme la perception d'un désir de coopération volontaire et de respect d'une obligation mutuelle [LeMarquand 1990].

Le second facteur est l'aide internationale. L'"*external support*" apparaît comme un facteur catalyseur de la coopération [Frey 1993, LeMarquand 1990]. Celui-ci met en exergue l'incapacité financière des Etats à adhérer volontairement à une action collective, même s'il existe une volonté réelle de respect de l'obligation morale de réciprocité.

Ces deux facteurs catalyseurs de l'engagement volontaire dans le cadre de la gestion et le partage d'une propriété commune, ne sont pas dissociables. Nous faisons l'hypothèse selon laquelle le respect de la réciprocité est une fonction de la richesse d'un Etat ou, de façon équivalente de l'aide internationale. Cette hypothèse, triviale de prime abord, nous conduit cependant à déterminer le niveau optimal de l'aide internationale permettant à un Etat de satisfaire à sa contrainte de réciprocité.

Nous examinons le cas particulier d'une préférence identique des Etats pour le bien public international. Le bien public en question est l'ensemble composé des infrastructures soutenant la production et la distribution, ainsi que le fonctionnement optimal du système de gestion des ressources par l'utilisation conjointe ou alternative des réserves souterraines et superficielles, par la recharge des réservoirs souterrains communs pendant l'hiver pour des prélèvements l'été.

Dans ce modèle, nous nous proposons d'étudier les circonstances dans lesquelles les agents peuvent être incités, soit à contribuer davantage que leurs partenaires, soit à contribuer pour moins que ces derniers. Plus exactement, nous nous interrogeons sur les limites du respect de la contrainte de réciprocité telle qu'elle est définie par Sugden.

Deux paramètres nous semblent importants à évaluer.

La richesse d'un Etat : la contribution volontaire au financement d'un bien public est bornée par la richesse [Bergstrom, Blume et Varian 1986]. Il existe un niveau de richesse critique en deçà duquel, la contribution d'un agent est nulle. Lorsque le différentiel de richesse entre deux Etats I et P est important, comment inciter à la coopération et au respect de la réciprocité dans la mesure des moyens de l'Etat le plus pauvre ?

L'efficacité de la contribution : Le deuxième facteur qui nous semble primordial dans la participation volontaire à une action collective est celui de l'efficacité de cette participation. La question que nous nous posons est la suivante : les agents sont-ils plus volontaires lorsqu'ils ont la possibilité d'observer l'efficacité des efforts qu'ils fournissent ? L'intuition suggère que la participation d'un agent est d'autant plus volontaire et maintenue dans la durée que celui-ci observe une élasticité d'échelle élevée de la production du bien public par rapport à sa propre contribution. En d'autres termes, dans l'hypothèse où cette élasticité de la production du bien public est variable, la participation volontaire au financement de ce dernier est fonction de l'efficacité du fonctionnement de ce dernier. Dans notre cadre d'analyse, les Etats se sentiraient moralement plus impliqués par le principe de réciprocité que les fonds versés au financement du bien public sont efficacement employés. Réciproquement, les agents pourraient réduire leur participation s'ils se rendent compte que le rendement de leur effort n'est pas élevé.

Nous évaluerons l'effet d'un dernier paramètre au respect de la contrainte morale de réciprocité, celui de l'intérêt porté pour le bien public.

4.1 - Le modèle

Ce modèle met en présence deux Etats I et P⁵³, dont les préférences pour le bien public international, tel que nous l'avons défini au début de ce chapitre, sont identiques et représentées par une fonction d'utilité collective de type Cobb-Douglas.

Des préférences Cobb-Douglas

La fonction d'utilité a la forme suivante $u_i(x_i, Z) = x_i^{(1-\alpha)} Z^\alpha$, $0 < \alpha < 1$, où x_i représente la quantité d'un bien privé composite consommée par un Etat et Z désigne la quantité de bien public international produite et disponible, consommée par les deux Etats simultanément. Les deux biens sont normaux, et la fonction d'utilité est croissante sur ses deux arguments. Notons que cette forme fonctionnelle suggère que les deux biens x et Z soient des biens essentiels de telle sorte qu'aucun Etat ne dépenserait la totalité de sa richesse à la consommation d'un seul bien x ou Z , puisque la non-consommation d'un bien conduirait à une utilité égale à zéro. Nous excluons par conséquent les paniers de biens extrêmes $(x_i, 0)$ et $(0, Z)$, et nous supposons $0 < \alpha < 1$.

La production et les paramètres α et β

Le niveau de la production du bien public est fonction de la somme des contributions des Etats, et cette fonction s'écrit : $Z(Q) = \left(\sum_i q_i \right)^\beta$, en l'occurrence $Z(Q) = (q_I + q_P)^\beta$. L'élasticité de la production du bien public par rapport à la contribution d'un Etat, en l'occurrence I, est la suivante : $e_{Z/q_I} = \frac{\partial Z}{\partial q_I} \frac{q_I}{Z}$,

$$e_{Z/q_I} = \beta (q_I + q_P)^{(\beta-1)} \frac{q_I}{(q_I + q_P)^\beta},$$

$$e_{Z/q_I} = \beta \left(\frac{q_I}{(q_I + q_P)} \right).$$

La variable β est un coefficient multiplicateur de la contribution relative d'un Etat. L'élasticité de la production du bien public par rapport à la contribution relative d'un Etat

est d'autant plus élevée que l'est β . β peut donc être interprétée comme un indicateur du rendement de l'utilisation des fonds, les contributions relatives, d'un Etat.

Normalisons à $\beta = 1$ le rendement optimal de l'utilisation des fonds. La variable α a, dans ce cas, une interprétation particulière qui découle des conditions pareto-optimales de la production du bien public. En effet, l'expression du taux marginal de substitution entre le bien public et le bien privé est la suivante :

$$TMS_{Zx_i} = \frac{\frac{\alpha x_i^{(1-\alpha)} Z^\alpha}{Z}}{\frac{(1-\alpha) x_i^{(1-\alpha)} Z^\alpha}{x_i}} \quad (3.20)$$

L'écriture des conditions de Samuelson [1954] dans le cas des fonctions Cobb-Douglas est la suivante :

$$TMS_{Zx_i} + TMS_{Zx_p} = \frac{\alpha x_i}{Z(1-\alpha)} + \frac{\alpha x_p}{Z(1-\alpha)} = 1 \quad (3.21)$$

La résolution de cette équation permet d'obtenir l'expression, à l'optimum de Pareto, de la variable α :

$$\alpha = \frac{Z}{x_i + x_p + Z} \quad (3.22)$$

Dans les conditions décrites ci-dessus, l'interprétation est alors évidente. Dans la mesure où Z est le résultat de la somme des contributions Q des Etats, la variable alpha, qui est égale au rapport de la somme des contributions Q sur la richesse globale des deux Etats, peut être interprétée comme la proportion de la richesse globale des deux Etats qu'il est pareto-optimal de consacrer à la production du bien public. En outre, lorsque le rendement de l'utilisation des contributions au financement du bien public est optimale, la variable α peut apparaître comme un indicateur du poids relatif accordé à l'existence du bien public par l'ensemble de la communauté et eu égard aux ressources globales. En d'autres termes, il s'agit de l'intérêt relatif du bien public par rapport aux autres ressources de l'économie régionale. Cet intérêt est proportionnelle à la valeur de α . Le bien public est considéré comme d'autant plus important que la variable α sur les préférences est élevée.

⁵³ Il est également possible d'imaginer le même scénario mais avec des régions plutôt qu'avec des Etats.

Chaque Etat consacre la totalité de sa richesse $R_i = x_i + q_i$, avec $i = I, P$ à la consommation du bien privé composite en quantité x_i et à la contribution au bien public en quantité q_i .

Notre objectif est le suivant : étudier les facteurs déterminants du comportement de réciprocité d'un Etat. Nous faisons l'hypothèse suivante : les informations sur les contributions sont connaissances communes. Les contributions des Etats sont transparentes, c'est-à-dire que chaque Etat possède l'information sur la contribution de l'autre. Cette hypothèse, qui peut être forte dans le cas où les agents seraient nombreux, est en revanche plus réaliste dans les cas où le nombre d'agents est réduit.

L'Etat observe donc la contribution de l'autre et détermine sa stratégie, i.e. sa propre contribution, en fonction de cette observation. Il ajuste sa stratégie en fonction de la stratégie de l'autre Etat.

Le programme de l'Etat I contraint par sa richesse et par la production du bien public international est le suivant :

$$\begin{aligned} \max_{x_I, q_I, \varepsilon, Z} \quad & u_I = x_I^{(1-\alpha)} Z^\alpha \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} (q_I + q_P)^\beta - Z = 0 \\ R_I - x_I - q_I = 0 \\ \varepsilon - q_I + q_P = 0 \end{cases} \end{aligned}$$

La troisième équation des contraintes correspond à l'écriture de la contrainte de réciprocité de Sugden [1984] ($q_I \geq q_P$), et auquel cas $\varepsilon = q_I - q_P$. A la différence de cette dernière, la variable ε peut ici prendre une valeur positive, négative ou nulle. De cette façon, nous mesurons la valeur de la contribution de l'agent I par rapport à l'observation de la contribution de l'autre. I peut donc respecter son obligation de réciprocité et auquel cas $q_I = q_P$ et $\varepsilon = 0$, il peut également contribuer à un niveau inférieur à son obligation de réciprocité, et auquel cas $\varepsilon < 0$ ou alors fournir un effort supérieur à son obligation de réciprocité et alors $\varepsilon > 0$.

Ce programme peut être ré-écrit sous la forme suivante :

$$\max_{\varepsilon} u_I = (R_I - q_P - \varepsilon)^{(1-\alpha)} (2q_P + \varepsilon)^{\beta\alpha} \quad (3.23)$$

La résolution de ce programme permet de déterminer la forme analytique de la variable ε^* , qui correspond à la stratégie optimale de I satisfaisant aux conditions de premier ordre. Cette valeur qui maximise l'utilité de l'Etat I est :

$$\varepsilon^* = \frac{\alpha\beta R_I - \alpha\beta q_P - 2q_P + \alpha 2q_P}{\alpha\beta + 1 - \alpha}. \quad (3.24)$$

4.2 - Statique Comparative

Les remarques que l'on peut faire à propos de l'expression (3.24) sont les suivantes.

4.2.1 - Réciprocité et niveau critique des richesses R_I^C

A contribution q_P de l'Etat P figée, et lorsque les paramètres α et β sont constants, l'Etat I respectera son obligation de réciprocité, i.e. $\varepsilon^* = 0$, à la condition du niveau critique de ressource R_I^C suivant :

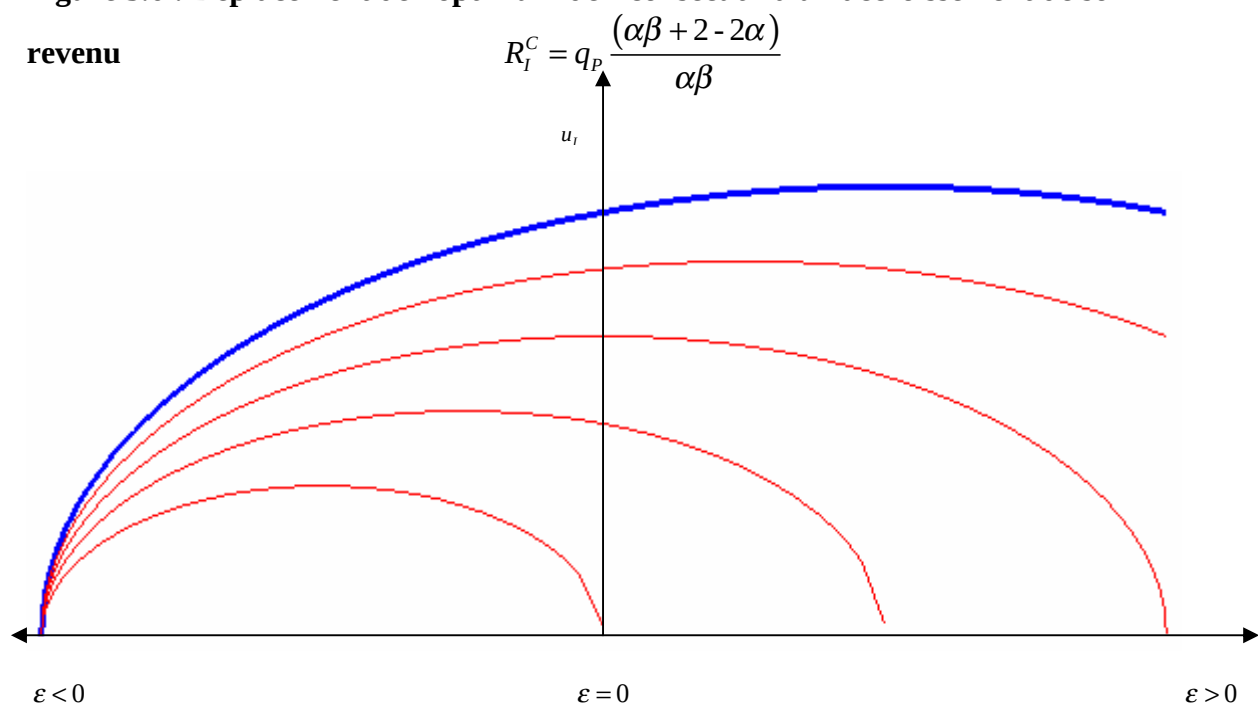
$$R_I^C = q_P \frac{(\alpha\beta + 2 - 2\alpha)}{\alpha\beta}. \quad (3.25)$$

Par ailleurs, $\varepsilon^* > 0$ pour $R_I^C > q_P \frac{(\alpha\beta + 2 - 2\alpha)}{\alpha\beta}$ et $\varepsilon^* < 0$ pour $R_I^C < q_P \frac{(\alpha\beta + 2 - 2\alpha)}{\alpha\beta}$.

L'écart entre la contribution de I et celle de P est bien fonction de la richesse de I. Cet écart est d'autant plus élevé que la richesse de I est élevée. Autrement dit, il est d'autant plus facile pour un Etat de satisfaire le principe de réciprocité qu'il ne se heurte pas à sa contrainte de richesse. Il contribuera même au-delà de son niveau de réciprocité lorsque son niveau de richesse, eu égard à la contribution de l'autre partenaire, est supérieur à la richesse critique.

Graphiquement (figure 3.6), un accroissement de la richesse d'un Etat, toutes choses égales par ailleurs, se traduit par un déplacement vers le nord-est de l'extremum de la fonction d'utilité de I, faisant passer sa stratégie optimale du cadran négatif au cadran positif.

Figure 3.6 : Déplacement de l'optimum de I consécutif à un accroissement de son revenu



La variation de cet écart optimal par rapport à R_I^C s'écrit, $d\epsilon^* = \left[\frac{\alpha\beta}{\alpha\beta + 1 - \alpha} \right] dR_I^C$.

Lorsque le rendement de l'utilisation des fonds pour la production du bien public est optimal, $\beta = 1$, la stratégie optimale de I, consécutive à une variation de sa richesse, est égal à $\frac{d\epsilon^*}{dR_I} = \alpha$. Autrement dit, la contribution de I est fonction de l'intérêt du bien public.

Si ce résultat peut paraître a priori trivial, i.e. une contribution volontaire et le respect du principe de réciprocité qui sont fonction de la richesse d'un Etat, il n'en reste pas moins que l'on ne peut éluder le différentiel de richesse qui caractérise nos deux Etats.

Dans le cas où un Etat ne parvient pas, faute de revenu suffisant, à respecter sa contrainte de réciprocité, son partenaire, n'est plus contraint par l'obligation de réciprocité.

Par ailleurs, la détermination du niveau efficace de production du bien public suppose non seulement l'agrégation des préférences, mais également celle des revenus à l'échelle régionale. Implicitement, cela suppose un financement solidaire par l'Etat le plus riche des besoins en bien public de l'Etat le moins argenté. Encore faudrait-il que cette volonté existe. Rien n'est moins sûr. Dans un tel scénario, la coopération est bloquée.

Il serait par conséquent intéressant de calculer le niveau optimal de l'aide internationale, autre facteur déterminant dans la coopération autour des cours d'eau internationaux et mis en exergue dans les recherches en sciences politiques [LeMarquand 1990, Frey 1993], par la différence entre le financement du bien public respectant le principe de réciprocité, et la participation d'un Etat eu égard à sa capacité contributive.

L'optimum de l'aide internationale ainsi défini est égale à la différence entre le revenu critique R_I^C et le deuxième membre de l'expression (3.25), i.e. :

$$\text{Aide Internationale Optimale} : q_p \frac{(\alpha\beta + 2 - 2\alpha)}{\alpha\beta} - R_I \quad (3.26)$$

4.2.2 - Réciprocité et rendement β des contributions

L'expression analytique de la modification de la stratégie de I, consécutive à une variation de l'efficacité de l'utilisation des fonds versé au financement du BPI, est la suivante :

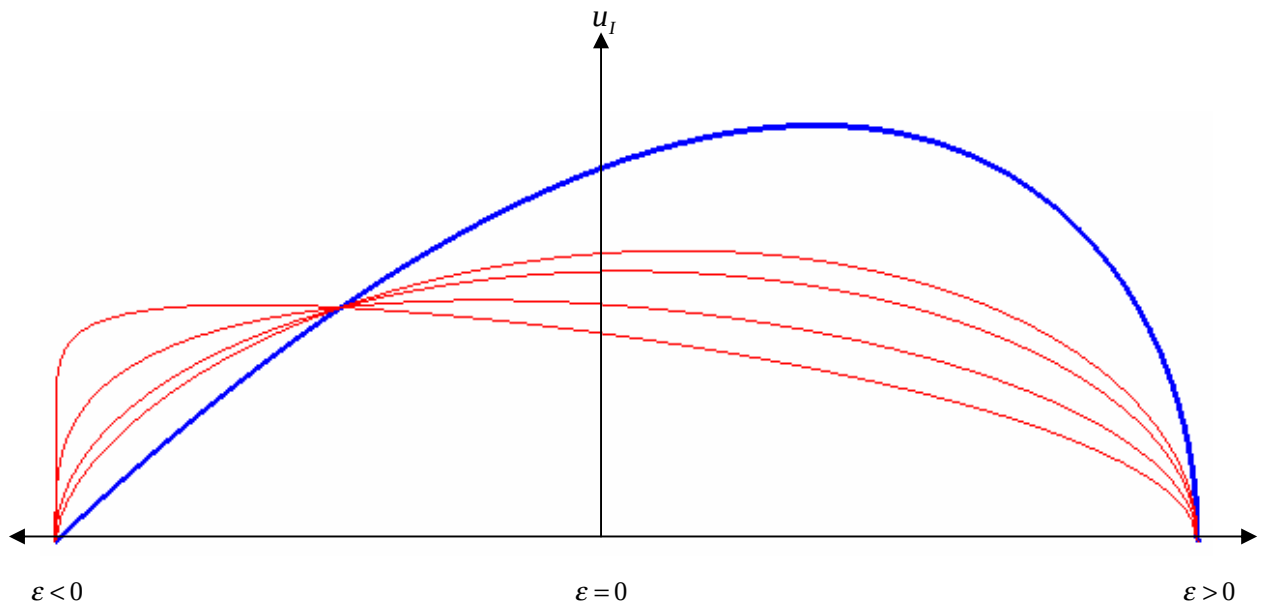
$$\frac{d\varepsilon^*}{d\beta} = \frac{\alpha(1-\alpha)(R_I + q_p)}{(\alpha\beta + 1 - \alpha)^2}. \quad (3.27)$$

Cette expression strictement positive exprime la corrélation entre le rendement de la contribution au bien public et le respect du principe de réciprocité. Toutes choses égales par ailleurs, tout accroissement du rendement de la contribution d'un Etat au bien public conduit à un accroissement positif de l'écart entre les contributions des Etats.

L'efficacité de l'utilisation des fonds favorise le respect du principe moral de coopération.

Graphiquement (figure 3.3), l'accroissement du rendement entraîne un déplacement vers le nord-est de l'optimum de l'Etat I, c'est-à-dire un écart positif qui se creuse avec la contribution de P ainsi qu'une élévation de son niveau d'utilité.

Figure 3.7 : Déplacement de l'optimum de l'Etat I consécutif à un accroissement du rendement β .



4.2.3 - Réciprocité et Intérêt α du bien public

L'expression, positive, suivante mesure le respect de la contrainte de réciprocité en fonction de l'intérêt porté au bien public.

$$\frac{d\epsilon^*}{d\alpha} = \frac{\beta(R_I + q_p)}{(\alpha\beta + 1 - \alpha)^2}$$

Les Etats seront d'autant plus enclins à satisfaire à l'obligation de réciprocité que le bien public est important. Réciproquement, ϵ^* tend à se réduire lorsque l'existence du bien public est considérée peu importante. En d'autres termes, les Etats n'ayant pas un intérêt majeur pour le bien se sentiraient moins concernés par l'obligation de réciprocité.

4.2.4 - Représentation des courbes d'indifférence dans l'espace (ε, q_p)

L'expression des courbes d'indifférence dans cet espace, pour des fonctions d'utilité plus générales continues, croissantes, monotones et deux fois différentiables sur les deux arguments, découle de la différentielle totale de l'utilité :

$$u(x_I, Z) = u(R_I - \varepsilon - q_p, 2q_p + \varepsilon) = V(\varepsilon, q_p),$$

La variation de l'utilité de l'Etat I, le long de sa courbe d'indifférence, est nulle, et par conséquent :

$$du = \frac{\partial u}{\partial x_I} dx_I + \frac{\partial u}{\partial Z} dZ = 0 \quad (3.28)$$

$$dx_I = \frac{\partial x_I}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial x_I}{\partial q_p} dq_p = -d\varepsilon - dq_p \quad (3.29)$$

$$dZ = \frac{\partial Z}{\partial \varepsilon} d\varepsilon + \frac{\partial Z}{\partial q_p} dq_p = d\varepsilon + 2dq_p \quad (3.30)$$

$$\Rightarrow \left[\frac{\partial u}{\partial Z} - \frac{\partial u}{\partial x_I} \right] d\varepsilon + \left[2 \frac{\partial u}{\partial Z} - \frac{\partial u}{\partial x_I} \right] dq_p = 0.$$

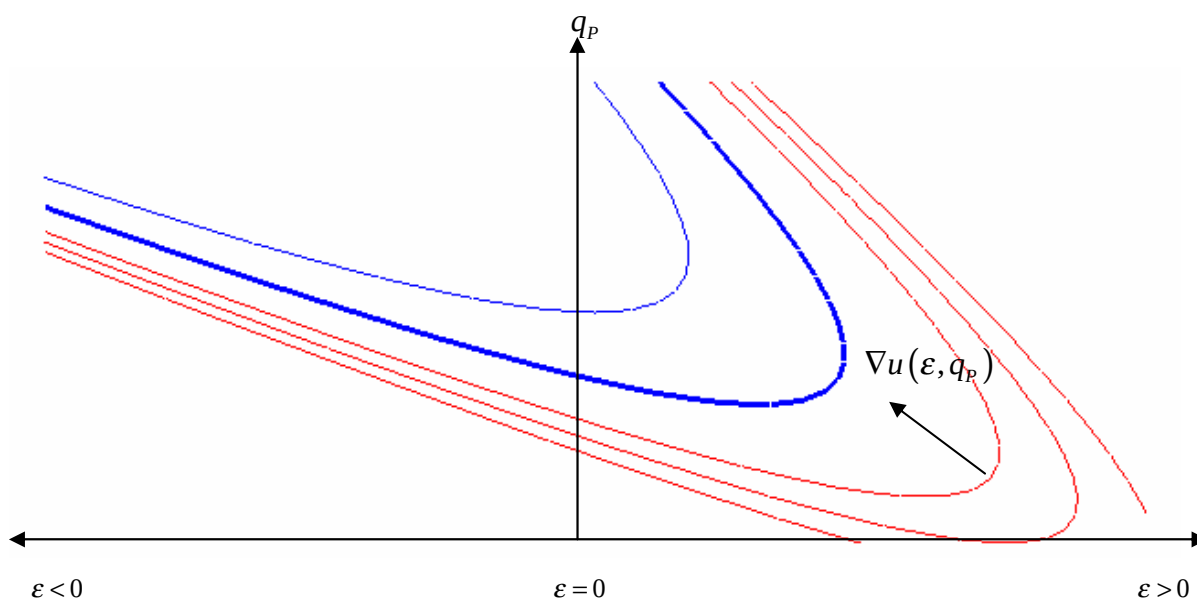
L'expression de la pente à la courbe d'indifférence de l'Etat I dans l'espace (ε, q_p) est la suivante :

$$\left. \frac{dq_p}{d\varepsilon} \right|_{u_I = \bar{u}} = \frac{\left[\frac{\partial u}{\partial x_I} - \frac{\partial u}{\partial Z} \right]}{\left[2 \frac{\partial u}{\partial Z} - \frac{\partial u}{\partial x_I} \right]}. \quad (3.31)$$

Cette dernière expression peut s'écrire, en remplaçant par TMS_{Zx_I} l'expression du taux marginal de substitution :

$$\left. \frac{dq_p}{d\varepsilon} \right|_{u_I = \bar{u}} = \frac{[1 - TMS_{Zx_p}]}{[2TMS_{Zx_p} - 1]}. \quad (3.32)$$

La représentation graphique des courbes d'indifférences dans l'espace (ε, q_p) est la suivante :

Figure 3.8 : Les courbes d'indifférences de l'Etat I dans l'espace (ε, q_p) 

4.3 - Conclusion

En conclusion de cette formalisation, nous pouvons énoncer les faits suivants.

Si la réciprocité est un facteur important de la coopération autour des cours d'eau internationaux, elle doit être accompagnée d'un certain nombre d'actions. En effet, la réciprocité, telle que définie par les auteurs l'ayant mis en exergue, est la perception d'un désir réciproque de coopération. C'est également une interprétation que l'on peut étendre à la contrainte de l'obligation morale de coopération de Sugden [1984].

Dans la pratique, cette perception du désir de coopérer doit être assez évidente, assez lisible pour les partenaires à la production du bien public, i.e. ce désir doit être perceptible.

Les facteurs que nous avons mis en évidence dans ce modèle, participent à la lisibilité du désir de réciprocité, et donc à la coopération.

En effet, la richesse d'un Etat peut être un obstacle au respect du principe de réciprocité. Si l'un des partenaires à la coopération ne perçoit pas cet obstacle, en d'autres termes s'il refuse de croire ou même s'il refuse d'accepter l'idée selon laquelle, son partenaire est incapable de satisfaire à son obligation morale de coopérer faute de revenu suffisant, le processus de coopération peut être bloqué. L'intervention d'un troisième

acteur permet de trouver une issue. Ce troisième acteur, la communauté internationale, interviendrait pour relancer le processus de la coopération soutenant celui qui n'arrive pas à satisfaire à son obligation de réciprocité. Le niveau optimal de l'aide internationale comblerait la différence entre la participation de l'Etat eu égard à sa capacité financière et le niveau de sa contribution correspondant à son obligation de réciprocité. Ce niveau est de :

$$q_p \frac{(\alpha\beta + 2 - 2\alpha)}{\alpha\beta} - R_I .$$

Le respect de l'obligation morale de coopération est également fonction du rendement β de l'utilisation des fonds destinés à la production du bien public. Une politique de communication ayant pour objet de favoriser la transparence de l'utilisation des fonds, en d'autres termes faire en sorte que le paramètre β soit connaissance commune, est un élément important qui permet de lever les éventuelles ambiguïtés sur l'efficacité du fonctionnement du BPI.

Par ailleurs, lorsque le bien public est considéré comme important, au sens où le niveau parétien de la production mobilise une part importante des ressources de la collectivité, cette part est mesurée par le coefficient α , les Etats seront plus enclins à satisfaire à leur obligation de coopération. En d'autres termes, plus le bien public a de l'intérêt et plus les agents sont disposés à coopérer, en revanche, si le bien public n'a pas de valeur significative pour les Etats, ces derniers ne se sentent pas très concernés par une obligation de coopération.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons illustré la principale difficulté inhérente à la production d'un bien public, i.e. le phénomène du passager clandestin. Cette difficulté concerne tous les biens publics, qu'ils soient nationaux ou internationaux. Toutefois, si l'on observe effectivement le free riding dans la réalité, il existe également des cas de production efficace de biens publics. De nombreux auteurs se sont interrogés sur cette asymétrie dans le comportement des agents, et diverses interprétations sont proposées dans la littérature. Nous avons discuté de ces interprétations en mettant en exergue les éclairages qu'elles apportent, mais également les limites de celles-ci. Le comportement de passager clandestin des agents est complexe, et la théorie de l'équilibre de Nash reste insuffisante pour interpréter ce phénomène.

L'hypothèse du passager clandestin fait également l'objet d'expérimentations depuis une vingtaine d'années. L'objectif de ces travaux en économie expérimentale est double. Il s'agit d'une part, de tenter de mesurer l'ampleur du phénomène du passager clandestin dans le but de le comparer avec les prédictions théoriques, et d'autre part, d'analyser les comportements des agents ainsi que leurs motivations lorsqu'ils sont coopératifs, ou lorsqu'ils sont incités au free riding.

Ces travaux confirment la complexité du phénomène et mettent en exergue, d'une part, la disparité des motivations des agents dans la coopération volontaire et d'autre part, le contexte faisant l'objet de la coopération.

Andreoni [1993, 1995a, 1995b] montre que ces motivations peuvent avoir pour origine des normes sociales particulières à chaque individu. Il peut s'agir d'altruisme, de générosité, ou de comportements moraux. Lorsque la discrimination, par l'extraction des motivations de générosité et d'altruisme est possible et effective, les sujets sont plus enclin à choisir la stratégie dominante de free rider [Andreoni 1995b]. La contribution globale au bien collectif est d'environ un tiers de ce que l'on peut observer dans les autres expériences. En moyenne, la moitié des observations de coopération ont pour origine la générosité, "*kindness*", qui est une propension d'origine culturelle et sociale.

Fischbacher *et alii* [2001] testent l'hypothèse selon laquelle les agents économiques adoptent des stratégies de coopération conditionnelle, c'est-à-dire que leur contribution à l'offre d'un bien collectif est conditionnée par la contribution des autres membres. Nous retrouvons là l'interprétation de la Réciprocité de Sugden [1984]. Leurs travaux montrent que la moitié des sujets ayant participé à l'expérimentation coopèrent sous la condition de réciprocité, un tiers d'entre eux peuvent être classé comme ayant un comportement de Nash, le reste est considéré comme ayant un comportement atypique.

Le rendement du bien public est également un facteur incitatif à la coopération [Issac *et alii* 1994]. De façon plus générale, un contexte d'externalités positives est plus favorable à la coopération qu'un contexte d'externalités négatives⁵⁴ [Andreoni 1995a]. En d'autres termes, les agents sont coopératifs pour la production d'un bien public que pour des efforts ayant pour objet la réduction des émissions de pollution.

Ces recherches n'ont pas encore été fédérées dans une théorie générale unifiée de la rationalité de l'agent dans l'action collective. Des passerelles existent entre l'économie expérimentale et les modèles théoriques, mais elles ne sont pas toutes robustes.

⁵⁴ L'hypothèse émise et testée est celle selon laquelle la différence dans le comportement des agents provient du fait qu'en présence d'externalités positives (offre de biens collectifs), contexte désigné comme "*positive-framed conditions*", les sujets sont plus coopératifs qu'en présence d'externalités négatives, les "*negative-framed conditions*".

Dans le chapitre suivant, nous abordons le problème de partage de coût dans un cadre coopératif de production. La participation volontaire à la production du bien public est interprétée en termes de contrainte de rationalité individuelle. Les agents ne participent à la coopération volontaire que si l'allocation finale respecte leur rationalité individuelle. Nous posons également la question de l'équité dans les règles de partage de coût.

CHAPITRE 4

L'EQUITE DANS UNE PROBLEMATIQUE DE PARTAGE DE COUT

INTRODUCTION

Le cadre général d'un modèle de partage de coût ("cost sharing") est celui d'un groupe d'agents qui utilise une technologie commune, un processus de production transformant certains inputs en outputs. Il peut aussi bien s'agir de la production d'un bien privé que d'un bien collectif, dont le coût marginal de production est soit croissant soit décroissant.

Les biens collectifs [Moulin 1994, Dearden 1998] sont dans ces conditions d'excellents exemples de modèles de coopération dans la production. Un bien collectif pur est un bien qui va être consommé sans rivalité et sans exclusion. Dans ce contexte, le questionnement est le suivant : quel niveau de bien collectif doit être produit i.e. quelle règle de décision collective, et comment le coût de production doit-il être partagé entre les agents ; c'est-à-dire règle de partage de coût ?

Le problème est identique à celui de la soutenabilité d'un monopole naturel. En effet, Young [1985] expose un modèle de firme en monopole naturel qui supporte des charges fixes et propose un service à un ensemble de consommateurs. Dans ce contexte, le questionnement est le suivant : comment organiser la production en coopération entre un ensemble d'agents ? A quelle hauteur chaque agent doit-il contribuer en input, et de quel niveau d'output doit-il bénéficier ?

Le point commun entre ces différents modèles est celui de la présence d'externalités dans la production en coopération. Dans les modèles de production de biens collectifs, l'externalité est évidente. Lorsqu'un agent accroît sa contribution au bien collectif produit, les autres agents en bénéficient de façon directe puisqu'il n'y a ni rivalité, ni exclusion d'usage. Dans les modèles de partage de technologie commune pour la production d'un bien privé, l'externalité est le résultat indirect de la production avec des rendements d'échelle non constants. Ces externalités seront positives en présence de rendements d'échelle croissants, elles seront négatives lorsque les rendements d'échelle seront décroissants. Lorsque les rendements sont croissants et que la tarification se fait au coût marginal, toute demande supplémentaire qui s'ajouterait à la demande totale aura pour conséquence une réduction du coût marginal pour l'ensemble des utilisateurs. Inversement, lorsque les rendements d'échelle sont décroissants, toute demande supplémentaire a pour conséquence une augmentation du coût marginal qui se répercute sur l'ensemble des usagers.

Nous commençons dans une première section par la présentation formelle d'un problème de partage de coût. Nous discutons deux concepts de solutions qui reviennent le plus souvent dans la littérature, à savoir le Coeur, et la valeur de Shapley.

La question de l'équité dans l'allocation des coûts est abordée à travers les externalités de préférences et les externalités de groupes qui constituent les fondements de la théories des bornes individuelles au bien-être [Moulin 1990 a, b, 1991, 1992, Moulin et Thomson 1997, Thomson 2001]. La section 2 est consacrée à l'étude de ces deux axiomes .

Eu égard aux critères d'équité discutés dans la précédente section, le concept de solution retenu dans notre cadre d'analyse est celui du "*Serial Cost Sharing*" [Moulin Moulin 1994].

SECTION 1 : FORMALISATION D'UN JEU DE PARTAGE DE COUT

On peut représenter le problème de partage de coût sous la forme d'un jeu coopératif. N agents représentent les consommateurs potentiels d'un service collectif, pur ou à exclusion, ou d'une technologie commune ou encore N individus devant contribuer à l'offre d'un bien collectif. Le service collectif (réseau de distribution d'eau), la technologie (réseau de transfert de donnée) ou le bien collectif (éducation) sont indivisibles. Dans tous

les cas de figure l'input est divisible, mais l'output peut aussi bien être divisible (eau), qu'indivisible (éclairage public).

REGLE DE PARTAGE DE COUT : Une règle de partage de coût se définit comme un moyen d'allouer le coût total entre les différents membres du groupe étant donné toute spécification possible de la fonction de coût [Young 1994 p.85].

Plus formellement, une règle de partage de coût est une fonction $F(c,N)$ qui associe à tout ensemble d'agent $N\{1,...,n\}$, et pour toute fonction de coût c sur N , le vecteur $F(c,N) = (x_1,...,x_n)$ tel que :

$$\sum_{i=1}^N x_i = c(N),$$

où x_i représente le coût alloué à l'agent i . Cette contrainte peut s'interpréter comme une condition de nullité du profit d'un monopole régulé, ou de couverture des coûts de la fourniture d'un bien collectif.

1.1 - Fonction de coût

Les coûts sont représentés par une fonction de coût $c(y)$ lorsqu'il s'agit d'un bien collectif, ou $c(\sum_i q_i)$ lorsqu'il s'agit d'un bien privé. Dans le premier cas le bien produit y est indivisible, et dans le second il est divisible $q = q_1 + q_2 + ... + q_n$.

On appelle coalition d'agents de l'ensemble N le sous-ensemble S de N , et on représente par $c(S)$ le coût de fourniture isolée de la coalition S .

Concrètement, il peut s'agir, comme dans notre cadre d'analyse, de plusieurs municipalités investissant ensemble pour la construction d'une installation de production d'eau et/ou d'un réseau de distribution d'eau.

Lorsque la fonction de coût est concave et $c(0)=0$ elle est alors sous-additive. Les rendements d'échelle sont croissants et le coût marginal décroissant. Par conséquent, pour tout sous-ensemble disjoint S et T de N on a :

$$c(S) + c(T) \geq c(S \cup T),$$

Pour une fonction de coût sous-additive il serait donc inefficace de construire deux réseaux de distribution pour chacune des coalitions d'agents S et T .

La fonction de coût peut être convexe, et si $c(0) = 0$ elle est sur-additive. Les rendements d'échelle sont décroissants et le coût marginal croissant. Pour tout sous-ensemble disjoint S et T de N on a :

$$c(S) + c(T) \leq c(S \cup T).$$

1.2 - Les préférences des agents : utilités ordinales et utilités cardinales

C'est à Borel et Von Neumann que l'on doit la première rupture avec la tradition des économistes orthodoxes de l'ordinalité supposée des utilités des agents [Myerson 1999]. Pour démontrer l'existence de solutions pour les jeux à somme nulle, ils reconnaissent l'obligation d'admettre le recours à des stratégies aléatoires. Ces décisions en incertitude impliquent que les joueurs maximisent la valeur de l'utilité espérée et, par conséquent, requièrent que les mesures des utilités soient cardinales.

Dans sa formulation, sous la forme d'un jeu normal, du modèle de l'interaction sociale entre des agents, Von Neumann pose l'hypothèse restrictive des utilités transférables, limitant la généralité de son modèle. En 1944, avec Morgenstern, ils justifient encore l'hypothèse des utilités cardinales en supposant que les gains d'un jeu correspondent à des paiements en monnaie qui peuvent être transférables. Mais Von Neumann n'est pas très à l'aise avec cette propriété "... which contradicted the contemporary wisdom among economic theorist who then understood utility as a purely ordinal concept" [Myerson 1999 p.1073].

En 1950 Nash, dans sa première contribution à la théorie des jeux *"The Bargaining Problem"*, lève cette hypothèse des utilités transférables dans son exposition de la théorie de l'utilité de Von Neumann et Morgenstern.

Finalement, la formalisation des problèmes de partage de coût ou de partage de surplus (il y a symétrie entre les deux problèmes) peut se concevoir dans le cadre de jeux à utilité transférable ou de jeux à utilité non transférable. Si les jeux à utilité non transférable offrent un degré de généralité des solutions plus élevé, ils posent néanmoins quelques problèmes techniques quant à leur manipulation, offrant moins de souplesse que les premiers [Moulin 1988].

En effet, dans le cas plus général des utilités non transférables, celles-ci sont ordinales, même si elles peuvent être représentées par des fonctions d'utilité cardinales. En revanche, dans le premier cas, les utilités sont dites transférables et la mesure des préférences des agents sont représentées par des fonctions d'utilités quasi-linéaires ayant la forme $U_i = v_i(q_i) + t_i$, c'est-à-dire additivement séparables, et linéaire sur un bien numéraire reconnu par tous les agents, généralement la monnaie. $U_i = v_i(q_i) + t_i$ représente l'utilité globale de l'agent i , elle est égale à la somme de $v_i(q_i)$ qui représente le bénéfice retiré par l'agent i de la consommation de q_i unités du bien produit en commun, et de t_i unités de biens numéraires.

Si l'on pose par convention que $v_i(0) = 0$, alors on peut interpréter la différence $v_i(q_i) - v_i(0)$ comme la disposition à payer les q_i unités du bien à consommer, ou encore, $v_i(q_i + 1) - v_i(q_i)$ comme la disposition marginale à payer une unité supplémentaire du bien.

On notera que la quantité du bien consommé par l'agent i est indépendante de son revenu t_i , sa consommation de bien numéraire. Implicitement cela revient à supposer que les agents ne soient pas limités par leur réserve en bien numéraire, et l'on ignore ainsi les effets revenus (caractéristique particulière aux utilités quasi-linéaires) ainsi que les dotations initiales en richesse.

Par conséquent, l'utilité des agents devient cardinale, permettant par la même occasion l'agrégation de l'ensemble des utilités des agents appartenant à une même coalition, le transfert de ces utilités entre les différents agents et finalement la comparaison interpersonnelle des niveaux de satisfaction des agents. En outre, les situations pareto-optimales efficaces sont beaucoup plus faciles à calculer puisqu'elles correspondent à la maximisation de la somme des utilités des agents.

Une allocation est alors dite efficace si et seulement si elle maximise la somme des utilités des agents, $\sum_{i \in N} u_i(q_i)$.

Parce que les interactions entre les $(2^n - 1)$ coalitions différentes d'un jeu à n joueurs sont complexes, la théorie de jeux coopératifs a recours à l'hypothèse simplificatrice des utilités transférables. Dans ce cas, les possibilités de coopération entre les agents peuvent

être décrites par des fonctions caractéristiques v qui assignent à chaque coalition S une valeur numérique $v(S)$. $v(S)$ est alors appelée la valeur de la coalition et représente le montant de l'utilité transférable entre les membres de la coalition S . Par convention on note : $v(\emptyset) = 0$.

Pour toute paire de coalition S et T , on dit que la fonction caractéristique est sur-additive si et seulement si :

$$\text{si } S \cap T = \emptyset, \text{ alors } v(S \cup T) \geq v(S) + v(T).$$

1.3 - Le concept du Cœur comme solution d'un jeu coopératif et ses différentes interprétations

Un jeu coopératif entre N agents se compose :

- d'un ensemble de solutions (utilité) réalisables pour la grande coalition N , et
- d'un ensemble d'utilités pour chacune des coalitions possibles non vide.

Chacun de ces $2^N - 1$ ensembles représentant les coalitions correspond à une opportunité de coopérer.

Le problème normatif soulevé par la théorie des jeux coopératifs est celui de la sélection d'une solution parmi l'ensemble des solutions réalisables de la grande coalition, appelée valeur du jeu. Cette valeur doit appartenir au Cœur du jeu, dans la mesure où celui-ci représente l'ensemble des solutions qui font l'unanimité eu égard à la rationalité individuelle.

L'un des objectifs de la théorie de jeux coopératifs est de déterminer les répartitions des gains issus de la coopération et susceptible de constituer un équilibre du jeu. Le concept de solution du Cœur a été introduit en théorie des jeux coopératifs dans l'objectif de restreindre l'ensemble des solutions à celui qui satisfait toutes les coalitions simultanément. On dit que le Cœur est l'ensemble des imputations qui ne laisse aucune coalition dans une situation où elle pourrait améliorer le gain de tous ses membres.

Le Cœur et la rationalité individuelle

Les conditions sur le Cœur sont une généralisation directe - et en même temps une synthèse - des conditions d'optimalité de Pareto et de rationalité individuelle [Shubik 1982

p.156]. Un jeu qui a un Cœur comporte potentiellement moins de conflits qu'un jeu sans Cœur, puisque tout désir de coopération et d'entente peut être satisfait. En effet, dans un jeu sans Cœur, il doit rester au moins une coalition insatisfaite, c'est à dire qui n'obtient pas ce qu'elle recèle potentiellement. En d'autres termes, au moins une coalition peut toujours faire mieux en quittant la grande coalition.

Le Cœur et la stabilité du jeu

Le concept de Cœur exprime également un concept de stabilité du jeu. C'est l'ensemble des allocations des coûts (ou des bénéfices) tel qu' "*aucune coalition ne peut protester au nom de son propre pouvoir*" [Moulin 1981 p.180]. Par ailleurs, Moulin [1995, p.622⁵⁵] écrit à ce propos : "*Le Cœur est le concept fondamental du point de vue de la stabilité lorsque toutes les coalitions sont libres de se former et atteignent automatiquement un accord efficace.*"

Le Cœur et l'équité

Dans la littérature sur le partage des coûts, l'idée du Cœur d'un jeu est présente sous le terme de "*coût de fourniture isolée*", ("*Stand Alone Cost*"), ou de façon équivalente de prix exempt de subvention ("*subsidy-free*"). C'est à Faulhaber [1975] que l'on doit la correspondance entre le concept du Cœur et celui du Stand Alone Cost dans les problèmes d'allocation de coûts. L'étude de la tarification des entreprises en situation de monopole, et la recherche de prix exempt de subvention a permis de faire la connexion entre le concept du Cœur et celui du coût de fourniture isolée. Dans cet article, l'auteur expose le principe désormais classé parmi les axiomes d'équité [Moulin, 1990a, b, 1992, Moulin et Thomson 1997] puisque définit soit une borne inférieure au bien-être individuel, soit une borne supérieure [Moulin 1992].

Nous exposerons ces deux principes qui sont à la base d'une allocation de coût équitable.

⁵⁵ Moulin, 1995, "An appraisal of cooperative game theory", Revue d'Economie Politique n°4.

1.4 - Le Cœur et le "Stand Alone Cost"

"... public policy makers are also concerned about more loosely defined question of equity: does a proposed price structure for the multicommodity enterprise "unduly" favour the consumers of one commodity, i.e. does the price structure result in cross-subsidy ?"

[Faulhaber 1975 p.966].

La question de l'équité est à l'origine du test du Stand Alone. Lorsque Faulhaber et Levinson [1981] élargissent la notion de subventions croisées entre biens à celle de subventions croisées entre consommateurs, le titre de leur article est sans ambiguïté : *"Subsidy-Free and Anonymous Equity"*⁵⁶.

Sharkey [1982 p.41] justifie l'utilisation du test comme outil permettant de juger du caractère inique du traitement, *"unfairly treated"*, de la situation d'un groupe de consommateurs.

1.4.1 - Le "Stand Alone Cost"

"... we might also interpret [subsidy-free prices] as a Stand Alone test..."
[Faulhaber 1975 p.969].

Les travaux des auteurs sur la recherche de prix exempt de subventions croisées comme principe de tarification juste ont débouché sur le test du coût de fourniture isolée.

Le test du coût de fourniture isolée est introduit par Faulhaber [1975] et Zajac [1972] à propos des subventions croisées dans la pratique tarifaire des firmes en situation de monopole. Il peut s'agir de subventions croisées entre les consommateurs d'un service monopolistique - le café pour reprendre l'exemple de Faulhaber [1987] - et ceux d'un service fournit par d'autres firmes - le sucre et la crème. Dans ce cas la subvention porte sur les prix de groupes de produits. Les prix des services du sucre et de la crème, dont le marché est concurrentiel, sont subventionnés par le prix du café, marché sur lequel l'entreprise est en situation de monopole et ne craint donc pas la concurrence.

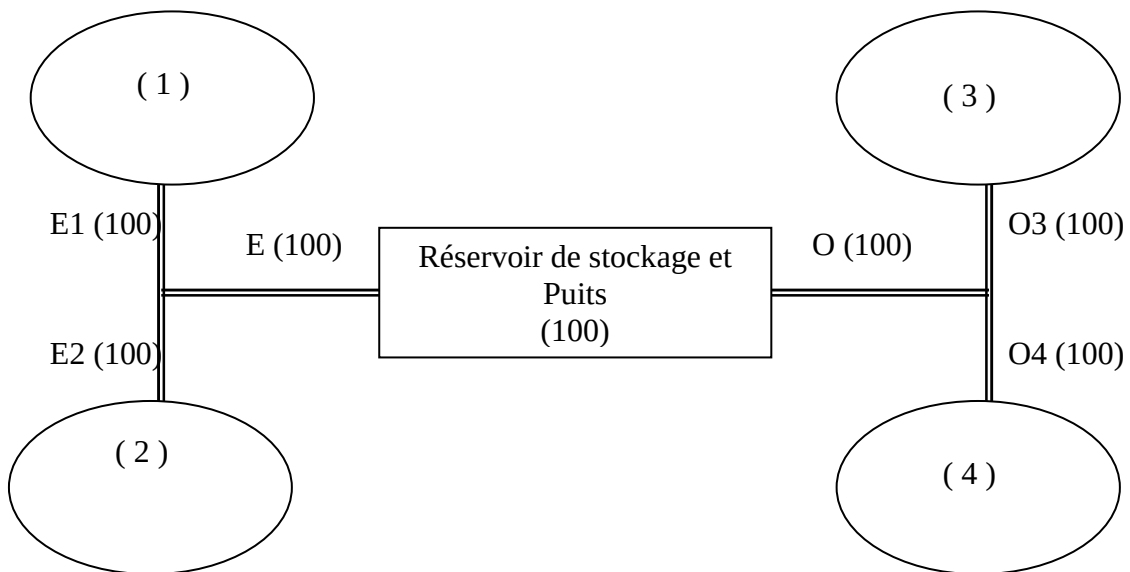
⁵⁶ Dans cet article, les auteurs se proposent d'explorer la relation entre le concept de bien exempt de subvention et celui d'équité anonyme, défini par Willig [1979] comme l'absence de consommateurs subventionnés dans la tarification des entreprises publiques. Leur résultat permet de mettre en exergue des situations où (tarifications en période de pointe) une tarification exempte de subventions peut violer le concept d'équité anonyme. Affinant l'analyse de Willig, la tarification équitable anonyme est une notion plus restrictive que celle de la tarification exempte de subvention.

La subvention croisée peut se généraliser [Faulhaber et Levinson 1984], dans la mesure où, elles peuvent également s'opérer entre des groupes de consommateurs d'un bien vers d'autres groupes de consommateurs du même bien.

Dans l'objectif d'explicitier le principe de coût de fourniture isolée, ainsi que la théorie des subventions croisées, nous reprendrons l'exemple de Faulhaber [1975].

Un distributeur d'eau fournit de l'eau à 4 zones de consommation voisines, à partir d'un réservoir commun. Deux zones de consommation sont situées à l'Est et les deux autres sont à l'Ouest. Le coût d'entretien du puits et du réservoir de stockage est de 100. Le coût de fourniture, prix d'entretien annuel d'un réseau de distribution, est de 100. Dans un premier temps, il faut deux réseaux de distribution, un vers l'Est (E) et l'autre vers l'Ouest (O). Il en faut par la suite deux autres pour alimenter les deux zones de consommation E1 et E2, O1 et O2. Ce scénario peut être représenté par le graphique suivant.

Figure 4.1 : Scénario de Faulhaber [1975]



Dans cet exemple, le coût de fourniture isolée d'une zone quelconque $\{i\}$ est de 300 ; celui de deux zones les plus proches, coalition $\{1, 2\}$ ou $\{3, 4\}$, est de 400 ; celui de deux zones éloignées, $\{1, 3\}$ ou $\{2, 4\}$, est de 500 ; celui de trois zones quelconques $\{i, j, k\}$ est de 600 ; et le coût de fourniture de la totalité des 4 zones de consommation, i.e. la grande coalition, est de 700.

Sharkey [1982 p.41] fournit la justification suivante au Stand Alone Cost : *"one can reasonably suppose that any neighbourhood or group of neighbourhood would insist (if it had the appropriate information) that its contribution to the revenues of the utility not exceed the cost of constructing a separate utility exclusively for its own needs."*

Par conséquent, une seconde contrainte s'ajoute à la contrainte de couverture des coûts de l'entreprise régulée, celle imposant que l'allocation des coûts à chacune des quatre zones de consommation ne doit pas dépasser le coût de fourniture de sa (ou ses) propre(s) demande(s). Autrement dit, le coût alloué à un consommateur, ou à un groupe de consommateurs dans un projet en commun, ne doit pas dépasser le coût de fourniture isolée de ses propres besoins.

Le test permettant de vérifier qu'un système de prix est exempt de subvention se compose donc d'un ensemble d'inéquations qui permettent de juger si un groupe de consommateurs est *"injustement"* traité [Sharkey 1982 p.41]. Dans notre exemple, le système d'équation du test s'écrit :

$$\begin{array}{ll}
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 700 & \text{(e),} \quad \text{équation de couverture des coûts} \\
 x_i \leq 300, \quad i = 1, \dots, 4 & \text{(a),} \\
 x_1 + x_2 \leq 400 & \text{(b),} \\
 x_3 + x_4 \leq 400 & \text{(b),} \\
 x_1 + x_3 \leq 500 & \text{(c),} \\
 x_2 + x_4 \leq 500 & \text{(c),} \\
 x_i + x_j + x_k \leq 600 & \text{(d)}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} (a) \\ (b) \\ (c) \\ (d) \end{array}} \right\} \text{équations des coûts de fourniture isolée}$$

La transformation des ces inégalités permet de montrer que le test de coût de fourniture isolée est équivalent à un test de coût incrémental.

$$\begin{array}{ll}
 z_1 + z_2 + z_3 + z_4 = 700 & \text{(i),} \\
 z_i \geq 100, \quad i = 1, \dots, 4 & \text{(ii),} \\
 z_1 + z_2 \geq 300 & \text{(iii),} \\
 z_3 + z_4 \geq 300 & \text{(iv),}
 \end{array}$$

avec (i) l'équation d'équilibre budgétaire, (ii) les revenus de chaque zone qui doivent couvrir le coût incrémental de sa fourniture, (iii) et (iv) les revenus de deux zones proches qui doivent couvrir le coût incrémental de leur fourniture. Le test du Stand Alone permet de vérifier l'absence ou la présence de subventions croisées. Il est donc équivalent au test du coût incrémental lorsque ce dernier est appliqué à un ensemble de services ou à un service pris isolément.

1.4.2 - Test du Stand Alone et correspondance avec le Cœur d'un jeu de partage de coût

La contrainte de coût de fourniture isolée correspond donc à une contrainte de rationalité individuelle, c'est-à-dire qu'un agent n'accepte de partager les coûts d'un bien collectif ou d'une technologie quelconque que s'il y gagne en terme d'économie de coût. Les principes s'énoncent comme suit :

PRINCIPE DU STAND ALONE COST :

Le prix alloué à une coalition ne doit jamais dépasser le coût encouru par celle-ci, si elle devait s'offrir le service toute seule. Formellement :

$$\text{pour toute coalition } S \subset N : \quad \sum_{i \in S} x_i \leq c(S). \quad (4.1)$$

PRINCIPE D'ABSENCE DE SUBVENTION :

Chaque coalition d'agents doit au moins payer le coût incrémental de sa consommation, exprimé par la différence entre la valeur du coût de fourniture de la grande coalition et la valeur du coût de fourniture de la coalition ($N \setminus S$).

$$\text{Pour toute coalition } S \subset N : \quad \sum_{i \in S} x_i \geq c(N) - c(N \setminus S). \quad (4.2)$$

Les deux principes signifient exactement la même chose. Le principe d'absence de subvention repose lui-même sur le coût de fourniture isolée. En effet, dans la mesure où

$\sum_{i \in N} x_i = c(N)$, les deux inégalités (4.1) et (4.2) ci-dessus peuvent s'écrire :

$$\sum_{i \in S} x_i \geq \sum_{i \in N} x_i - c(N \setminus S) \Leftrightarrow c(N \setminus S) \geq \sum_{i \in N \setminus S} x_i .$$

DEFINITION 4.1 : LE CŒUR D'UN JEU DE PARTAGE DE COUT

Soit un jeu de partage de coût (N, c) . $N = \{1, \dots, n\}$ est l'ensemble des agents et $c(S)$ le coût associé à chaque coalition S de N , $c(S) \geq 0$.

Le Cœur du jeu (c, N) , est l'ensemble des allocations de coûts x satisfaisant aux deux conditions suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n x_i = c(N) \\ S \subset N : \quad \sum_{i \in S} x_i \leq c(S) \text{ [propriété (4.1)]} . \end{array} \right.$$

1.4.3 - Jeu de partage de coût et jeu de partage de surplus : des jeux symétriques

Le principe du Stand Alone peut également être appliqué à un problème de partage du surplus d'une action collective. Il s'interprète de la façon suivante : chaque coalition doit bénéficier d'une part du gain collectif au moins égal à celle qu'elle pourrait retirer d'une défection de la coalition.

DEFINITION 4.2 : LE CŒUR D'UN JEU DE PARTAGE DE SURPLUS

Soit un jeu coopératif à utilité transférable (v, N) dans lequel N représente le nombre fini d'agents du jeu, et v la fonction qui associe à chaque coalition S son surplus en valeur numérique $v(S)$. Une allocation est un vecteur x , tel que :

$$\text{pour tout } S \subset N : \sum_{i \in S} x_i = v(N).$$

Le Cœur de (v, N) est l'ensemble des allocations x satisfaisant la condition suivante :

$$\text{pour tout } S \subset N : \sum_{i \in S} x_i \geq v(S) \quad (4.3)$$

$v(S)$ est donc le surplus pour la coalition S , c'est-à-dire le bénéfice (en terme monétaire) de la coopération entre les membres de la coalition.

Les relations (4.1) et (4.3) sont symétriques. Il est en effet possible d'associer au jeu de partage de coût (c, N) un jeu de partage de surplus (v, N) avec :

$$v(S) = \sum_{i \in S} c(i) - c(S)$$

A une allocation de coût x de (c, N) , on associe l'allocation y de (v, N) , avec $y_i = c(i) - x_i$, $i \in N$. On vérifie par la suite que x est une allocation du Cœur de (c, N) si et seulement si y est une allocation du Cœur de (v, N) .

Nous illustrons par un exemple numérique la correspondance entre un jeu de partage de coût et un jeu de partage de surplus.

Soit 3 municipalités, 1, 2 et 3, souhaitant mettre en place un projet de construction d'un réseau de distribution d'eau.

Les coûts de production du réseau pour chacune des coalitions sont les suivants :

$c(1, 2, 3) = 255$: équation de la contrainte de couverture de coût,

$$\left. \begin{array}{l} c(1, 2) \leq 170 \\ c(2, 3) \leq 190 \\ c(1, 3) \leq 160 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{équations des contraintes} \\ \text{de coûts de fourniture isolée} \end{array} \quad (4.4) \quad \left\{ \begin{array}{l} c(1) \leq 120 \\ c(2) \leq 140 \\ c(3) \leq 120 \end{array} \right.$$

Afin de transformer notre problème d'allocation de coûts en un problème de partage des bénéfices de la coopération, nous opérons le changement de variable suivant :

$y_S = \sum_{i \in S} c(i) - c(S)$. y_S représente le bénéfice tiré de la coopération par une coalition S , en l'occurrence l'économie de coût.

Les équations se réécrivent comme suit :

$y(1, 2, 3) = c(1) + c(2) + c(3) - c(1, 2, 3) = 380 - 255 = 125$ correspond au bénéfice tiré de la grande coalition. Ce bénéfice est à partager entre les différentes municipalités compte tenu des contraintes de coût de fourniture isolée transformées en contraintes de coût incrémental suivants :

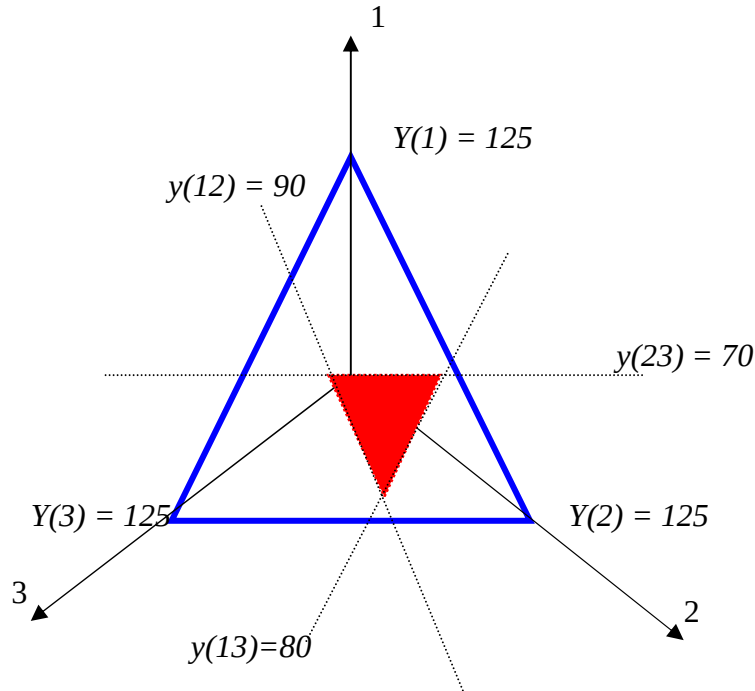
$$y(12) = c(1) + c(2) - c(12) = 120 + 140 - 170 = 90 \quad \Rightarrow \quad y(12) \geq 90$$

$$y(13) = c(1) + c(3) - c(13) = 120 + 120 - 160 = 80 \quad \Rightarrow \quad y(13) \geq 80$$

$$y(23) = c(2) + c(3) - c(23) = 140 + 120 - 190 = 70 \quad \Rightarrow \quad y(23) \geq 70$$

Graphiquement on peut représenter l'espace des imputations qui correspond aux situations pareto-optimales où le gain maximum de la coopération est de 125. La figure 3.2 représente le simplexe du jeu $\{y_i \geq 0, y_1 + y_2 + y_3 = 125\}$.

Figure 4.2 : Le Cœur d'un jeu de partage de coût



Le grand triangle en bleu représente l'espace des imputations, i.e. les solutions pareto-optimales, c'est-à-dire l'ensemble des vecteurs de dimension 3 et dont la somme des composantes est égale à 125. Chaque sommet du grand triangle correspond à un vecteur de partage, tel que les bénéfices sont appropriés par une seule municipalité.

Le petit triangle rouge délimité par les droites des contraintes de coût de fourniture isolée, ou de coût incrémental, correspond au Cœur de notre jeu de partage de coût.

Dans le cas de cette illustration, on notera que le Cœur est circonscrit à l'intérieur de l'espace des imputations. Mais, le Cœur peut être vide. Cela correspond au cas où le système d'équation des contraintes de coût de fourniture isolée (4.4) n'a pas de solution. En effet, supposons que le coût de production de notre bien collectif, réseau de distribution d'eau, soit de 265 au lieu de 255. Le système d'équation définissant le Cœur est le suivant :

$$\{c(12) \leq 170, c(23) \leq 190, c(13) \leq 160\} \Rightarrow 2c(123) \leq 170 + 190 + 160 = 520.$$

Ce résultat est impossible. Le système d'équation n'a pas de solution, puisque $c(123) = 265$.

1.5 - Cœur vide, jeu sur-additif

Le Cœur d'un jeu peut être vide. C'est la plus sérieuse limite à ce concept de solution. En effet, si tout élément du Cœur est pareto-optimal, la réciproque n'est pas forcément vraie. Quelle que soit la pertinence du principe de coût de fourniture isolée, un Cœur vide est synonyme d'absence de consensus pour la coopération. Il existera toujours une coalition (ou plusieurs) qui, soit l'invoquera, soit l'objectera.

1.5.1 - Jeu sur-additif: une condition nécessaire

La propriété de sur-additivité du jeu coopératif est une condition nécessaire pour que le Cœur ne soit pas vide. La sur-additivité d'un jeu signifie que l'union de deux coalitions, disjointes deux à deux, peut au moins aussi bien faire que les deux coalitions indépendantes.

Soit $S_1, \dots, S_k$, partitions de la grande coalition N , deux à deux disjointes et dont l'union est vide. Un jeu sur-additif est un jeu tel que :

$$\sum_{i=1}^k v(S_i) \leq v(N).$$

Toutefois, la propriété de sur-additivité du jeu reste insuffisante (elle n'est que nécessaire) pour garantir la non-vacuité du Cœur.

1.5.2 - Famille de coalition balancée : une condition suffisante

Les démonstrations⁵⁷ font appel à la notion de famille de coalitions balancées.

DEFINITION 4.3: FAMILLE DE COALITIONS BALANCEES

⁵⁷ C'est à Bondavera [1962] et Shapley [1971] que l'on doit les premières caractérisations de la classe de jeux à utilité transférable dont le Cœur n'est pas vide. Le théorème est repris et démontré, entre autres auteurs, par Moulin [1988] et Myerson [1991].

Soit un ensemble de N joueurs. Une série de poids balancés est une application δ de l'ensemble des $2^N \setminus \{N\}$ coalitions propres (c'est-à-dire toutes les coalitions différentes de $\{N\}$) dans $[0, 1]$ telle que : $\sum_{S: i \in S} \delta_S = 1$ pour tout agent i , et la somme porte sur toutes les coalitions propres contenant i . Une série $(S_1, \dots, S_k)$ de coalitions est balancée s'il existe des nombres $\delta_1, \dots, \delta_k$ telles que : $\sum_{S: i \in S} \delta_S = 1$

THEOREME 4.1 [Bondavera, 1962] :

Le Cœur d'un jeu à utilité transférable (v, N) est non vide si et seulement si, pour toutes les séries de poids balancés δ , nous avons :

$$\sum_{\substack{S \subset N \\ \text{propre}}} \delta_S v(S) \leq v(N). \quad (4.5)$$

Un jeu qui vérifie cette condition est un jeu balancé.

Soit un jeu à utilité transférable de trois joueurs $\{1, 2, 3\}$. En appliquant la relation (4.5) le Cœur de ce jeu est non vide si et seulement si :

$$\begin{aligned} v(1) + v(2) + v(3) &\leq v(N), \\ v(1) + v(23), v(2) + v(13), v(3) + v(12) &\leq v(N), \text{ et} \\ \frac{1}{2} [v(12) + v(13) + v(23)] &\leq v(N). \end{aligned}$$

La condition (4.5) peut être interprétée de la façon suivante : les surplus $v(S)$ des coalitions propres S ne sont pas trop élevés par rapport au surplus de la grande coalition $v(N)$. Autrement dit, en termes de jeu de partage de coût, les économies de coût réalisées par la coopération entre les membres des coalitions S ne sont pas trop importantes eu égard à l'économie de coût de la grande coalition.

Jeu de partage de coût :

Le Cœur d'un jeu de partage de coûts (c, N) est non vide si et seulement si, pour toutes les séries de poids balancées δ , nous avons :

$$\sum_{\substack{S \subseteq N \\ \delta_S}} \delta_S c(S) \geq c(N) \quad (4.6)$$

Jeux convexes

Par ailleurs, Shapley [1971] montre qu'une condition forte garantissant la non-vacuité du Cœur est que le jeu soit convexe, c'est à dire que l'on ait pour tout $S, T \subseteq N$:

$$c(S \cup T) + c(S \cap T) \leq c(S) + c(T).$$

Nous aborderons les jeux convexes dans la discussion de la relation entre la valeur de Shapley et le Cœur.

1.5.3 - Cœur trop large

L'objet de la théorie des jeux coopératifs est de trouver un concept de solution reposant sur la plus large base d'axiomes d'équité, et si possible en extraire une distribution unique. Deux valeurs émergent comme solution, le Nucléole et la valeur de Shapley. Eu égard au principe d'équité, le premier est une application de l'égalitarisme aux jeux à utilité transférable, tandis que le second suit le principe utilitariste et la rémunération de chaque agent est proportionnelle à sa productivité coopérative, i.e. à sa contribution marginale à la coalition.

Dans les paragraphes précédents, nous avons défini l'ensemble des solutions réalisables et faisant l'unanimité entre les agents. Cet ensemble de solution peut être soit vide, soit trop large i.e. les solutions sont trop nombreuses. Dans ce dernier cas, certains auteurs se sont attelés à construire un concept de solution qui repose sur les axiomes d'équité les plus largement acceptés. La valeur de Shapley et le Nucléole sont les deux concepts de solutions les plus largement répandus dans la littérature de partage de coût.

1.6 - La Valeur de Shapley (VS)

1.6.1 - Une démarche axiomatique

La démarche adoptée par Shapley [1953] pour parvenir à la construction de la valeur d'un jeu est une démarche axiomatique. Il ne s'agit pas de déterminer un équilibre du jeu, mais d'arriver à une évaluation a priori des perspectives de participation au jeu. En d'autres termes, une évaluation ex-ante de l'issue du jeu pourrait soit dissuader le joueur de s'engager dans la coopération, soit l'inciter.

L'auteur se pose la question des propriétés qu'il serait souhaitable que la valeur vérifie. Soit $\phi(v) = \phi_1(v), \dots, \phi_n(v)$ le vecteur solution où $\phi_i(v)$ est la valeur du jeu pour le joueur i .

Permutation :

Une permutation de l'ensemble des joueurs N est une fonction $\pi : N \rightarrow N$ telle que, pour chaque joueur j de N , il existe exactement un joueur i de N pour lequel $\pi(i) = j$. Etant donnée une telle permutation π et un jeu coopératif v , soit πv le jeu coopératif tel que :

$$\pi v\left(\left\{\pi(i) \mid i \in S\right\}\right) = v(S), \quad \forall \quad S \subseteq N.$$

Ce qui signifie que le rôle du joueur i dans v est identique à celui de $\pi(i)$ dans πv .

Les axiomes que doit vérifier la valeur selon Shapley sont les suivants :

A1 : AXIOME DE SYMETRIE ou d'Anonymat : pour toute permutation π de N on a :

$$\phi_{\pi(i)}(\pi v) = \phi_i(v).$$

L'axiome de symétrie stipule que le paiement attribué à chaque coalition ne dépend pas de l'indice de l'individu. Le numéro de l'indice d'un agent n'affecte pas la part qu'il reçoit. En terme stratégique, on dirait que la valeur attribuée à chaque joueur ne dépend que de sa force stratégique, et non de son libellé.

A2 : AXIOME DE D'EFFICACITE :

$$\sum_{i \in N} \phi_i(v) = v(N)$$

Cet axiome correspond à l'optimum de Pareto. Il stipule que la valeur représente une distribution de la totalité des gains du jeu.

A3 : AXIOME D'ADDITIVITE⁵⁸: Pour tout couple de jeux v et w indépendants,

$$\phi_i(v + w) = \phi_i(v) + \phi_i(w) \quad \forall i \in N.$$

Lorsque deux jeux indépendants sont combinés, leur valeur doit être ajoutée joueur par joueur.

Après avoir énoncé ces trois axiomes, Shapley démontre l'existence d'une seule application ϕ - appelée désormais Valeur de Shapley – qui satisfait ces derniers.

THEOREME 4.2 [Shapley 1953] :

Il y a exactement une seule fonction ϕ qui satisfait les axiomes A1, A2 et A3. Cette fonction satisfait l'équation suivante pour tout i de N et pour tout jeu coopératif v :

$$\phi_i(v) = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|S|!(|N| - |S| - 1)!}{|N|!} (v(S \cup \{i\}) - v(S)) \quad (4.7)$$

Dans un jeu de partage de coût, la formule reste identique. En modifiant les notations, c au lieu de v , le vecteur $\sigma(c) = (\sigma_1(c), \dots, \sigma_n(c))$ devient le vecteur des allocations de coûts entre les n agents.

$$\sigma_i(c) = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|S|!(|N| - |S| - 1)!}{|N|!} (c(S \cup \{i\}) - c(S))$$

⁵⁸ "law of aggregation" selon la terminologie de Shapley [1953]. Myerson [1991] considère un axiome proche de celui de l'axiome d'additivité de Shapley, c'est celui de la linéarité.

1.6.2 - Les interprétations de la valeur de Shapley

1.6.2.1 - Interprétation probabiliste

Shapley souligne que la démarche déductive qu'il a choisi d'adopter ne permettait pas de présenter la valeur comme le résultat escompté d'une procédure de négociation. Selon lui, la valeur doit être considérée comme une évaluation a priori d'une situation fondée soit sur l'ignorance, soit sur l'indifférence à l'égard de l'organisation sociale des joueurs⁵⁹. Les joueurs qui constituent le groupe fini N s'accordent pour jouer le jeu v au sein de la grande coalition. Celle-ci commence avec un seul joueur et intègre les autres jusqu'à ce que tous soient admis. L'ordre dans lequel les joueurs rejoignent la coalition est aléatoire, et tous les arrangements possibles sont équiprobables.

Myerson [1991] illustre la VS de la façon suivante. Supposons N agents que l'on envisage de réunir dans une même salle pour former la grande coalition. L'accès à cette salle se fait par une porte unique, si étroite que l'on ne peut y faire passer qu'une personne à la fois. Les agents sont donc contraints de faire la queue devant la porte.

- $|N|!$: Il y a $|N|!$ façons différentes d'ordonner les N agents dans une queue, et donc $|N|!$ classements possibles de la grande coalition.
- $\frac{1}{|N|!}$, est la probabilité d'un agent de se retrouver à l' i ème position dans la queue.
- $(S-1)!$ est le nombre de façons différentes de former la coalition $S \setminus \{i\}$.
- $(N-S)!$ est le nombre de façons de former les autres coalitions.
- $|S|!(|N|-|S|-1)!$ est le nombre de façons possibles d'ordonner les joueurs de telle sorte que la coalition S se retrouve devant le joueur i dans la queue. Autrement dit, c'est le nombre de façons de former la coalition S dans $N \setminus \{i\}$.
- $\frac{|S|!(|N|-|S|-1)!}{N!}$ est la probabilité pour l'agent i , lorsqu'il entre dans la pièce, de rencontrer le groupe d'agents S . En d'autres termes, c'est la probabilité de former une

⁵⁹ "... the value is best regarded as an a priori assessment of the situation, based on either ignorance or disregard of the social organization of the players. " Shapley [1953] p. 316

coalition $S \setminus \{i\}$, et par conséquent la probabilité pour un agent i de rejoindre la coalition S .

- $v(S \cup \{i\}) - v(S)$ est la contribution marginale de l'agent i à la coalition S .

Étant donné les probabilités d'ordonnement des joueurs, la VS d'un joueur correspond à l'espérance de sa contribution marginale à la coalition. Elle correspond également à la moyenne de ses contributions à toutes les coalitions auxquelles il peut adhérer.

1.6.2.2 - Interprétation en terme de procédure d'arbitrage

Luce et Raiffa [1967] ont été les premiers à donner une interprétation de la valeur de Shapley en terme de procédure d'arbitrage d'un jeu à N personnes. Ainsi, lorsqu'un conflit d'intérêt apparaît entre plusieurs agents sur le partage d'une ressource obtenue par une action commune, un arbitre doit déterminer les solutions acceptables par tous. Pour les auteurs en question, la VS correspond à un schéma d'arbitrage accepté par tous les agents.

Les axiomes A1 à A3 se lisent alors de la façon suivante. L'axiome de symétrie exige que l'arbitre soit conduit uniquement par le rôle stratégique de chaque joueur représenté par sa fonction caractéristique et non par son étiquette. L'axiome d'efficacité exige que l'arbitre se restreigne sur les solutions parétiennes, de telle sorte qu'aucune partie ne peut lui faire valoir une allocation différente de la sienne et préférée par tous. Quant à l'axiome A3, il stipule que lorsque qu'un jeu peut être décomposé en deux jeux, la valeur attribuée à un joueur doit être égale à la somme des valeurs de chaque jeu.⁶⁰

La décomposition de la formule de la VS ci-dessus permet de mettre en évidence l'approche probabiliste de la procédure, équiprobabilité d'occurrence de la position de chaque agent dans la queue d'entrée dans la salle, et l'approche marginaliste de la contribution de chaque agent. La formule *"attribue à chaque joueur sa contribution marginale moyenne, c'est-à-dire, l'espérance de sa contribution au bénéfice total lorsque les joueurs sont ordonnés "au hasard"*. Cette interprétation (...) *"suggère le lien profond*

⁶⁰ Toutefois, cette interprétation de la VS en terme de procédure d'arbitrage n'est pas exempte de critiques et de difficultés. Voir à ce sujet l'exemple de Luce et Raiffa [1967] qui illustre les problèmes soulevés par l'axiome d'additivité pour interpréter la VS en terme de procédure d'arbitrage, comme une procédure d'arbitrage désirée par tous dans le jeu considéré. L'argument est le suivant : si le jeu u peut être décomposé en deux sous-jeux v et w , les joueurs peuvent ne pas se comporter de la même façon dans le sens où chaque jeu a sa propre structure.

entre l'axiomatique de l'arbitrage et l'approche marginaliste de la théorie économique..."
[Moulin 1981 p.203].

L'approche probabiliste peut être évoquée comme critère de justice quant à l'allocation initiale des droits de propriété d'une ressource environnementale, comme une alternative à l'allocation selon le principe du premier arrivé, premier servi - "*first in use first in right*".

1.6.3 - Jeux convexes

Formellement il n'existe pas de relation entre la VS et le Cœur. La VS a été construite sans aucune référence au Cœur et peut donc être calculé sans se soucier de savoir si le Cœur du jeu est vide ou non. Toutefois, un des obstacles à l'utilisation de la VS vient du lien qu'il peut y avoir ou ne pas y avoir entre ces concepts de solutions. En effet, lorsque le Cœur d'un jeu est vide cela signifie, comme nous l'avons vu précédemment, qu'il n'existe aucune solution qui satisfasse à la fois toutes les parties en présence. En d'autres termes, il existera toujours une coalition qui aura intérêt à faire sécession et à quitter la grande coalition. L'interprétation en terme de procédure d'arbitrage est mise en défaut, puisqu'il n'y a pas de compromis satisfaisant tous les agents. La VS ne passe donc pas le test du Stand Alone.

Lorsque le Cœur est non vide, il peut aussi arriver que la VS ne soit pas dans le Cœur. Toutefois, les jeux convexes représentent une classe de jeux dont le Cœur est non vide et contenant la VS. En outre, la VS occupe une position centrale au sein du Cœur de ces jeux.

Ces jeux sont caractérisés par un rendement croissant de la coopération comme le montre la définition suivante.

DEFINITION 4.4 : JEUX CONVEXES

Un jeu coopératif à utilité transférable est convexe, s'il satisfait l'une des deux propriétés suivantes :

$$\begin{aligned} & \text{pour tout } i \in N, \text{ tout } S, T \subset N \setminus \{i\}: \\ & \{S \subset T\} \Rightarrow \{V(S \cup \{i\}) - v(S) \leq V(T \cup \{i\}) - v(T)\} \end{aligned} \quad (4.8)$$

et/ou

$$\begin{aligned} & \text{pour tout } S, T \subset N: \\ & v(S) + v(T) \leq v(S \cup T) + v(S \cap T) \\ & \text{par convention } v(\phi) = 0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

Ces deux expressions, (4.8) et (4.9), s'interprètent de la façon suivante. La contribution marginale de l'agent i à la coalition S est inférieure à sa contribution marginale à une coalition T contenant S . En d'autres termes, la contribution marginale d'un agent i sera d'autant plus grande que la coalition à laquelle il se joint est large.

Dans un jeu convexe, pour tout classement de N le vecteur des contributions marginales correspondant est dans le Cœur. Par conséquent, un jeu convexe est balancé. En outre, le barycentre de l'espace circonscrit par les vecteurs des contributions marginales, à savoir la VS, est dans le Cœur.

LEMME [Moulin 1988] :

Soit un jeu convexe à utilité transférable (N, v) , et soit N agents ordonnés $\{i_1, \dots, i_n\}$. Le vecteur des contributions marginales correspondant à ce jeu $x_{i_k} = v(i_1, \dots, i_k) - v(i_1, \dots, i_{k-1})$ est dans le Cœur du jeu. Par conséquent la VS est dans le Cœur. La VS étant définie comme la moyenne des vecteurs des contributions marginales.

La démonstration de la propriété réciproque est donnée par Ichiishi [1981]. Si toutes les contributions marginales sont dans le Cœur, alors le jeu est convexe.

Dans un jeu convexe, la valeur de Shapley occupe la position centrale au sein du Cœur. En effet, Shapley [1971] montre que les vecteurs des contributions marginales d'un

jeu correspondent aux points extrêmes (vertex) d'un Cœur (convexe). En d'autres termes, le Cœur est un espace convexe délimité par les vecteurs des contributions marginales.

Nous illustrons nos propos par un exemple.

Soit un jeu, à trois personnes, convexe. Normalisé, ce jeu s'écrit sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} v(i) &= 0 \text{ pour tout } i = 1, 2, 3 ; \\ v(N) &= 1 ; \\ 0 \leq v(ij) &\leq 1, \text{ pour tout } \{ij\}, i \neq j \end{aligned}$$

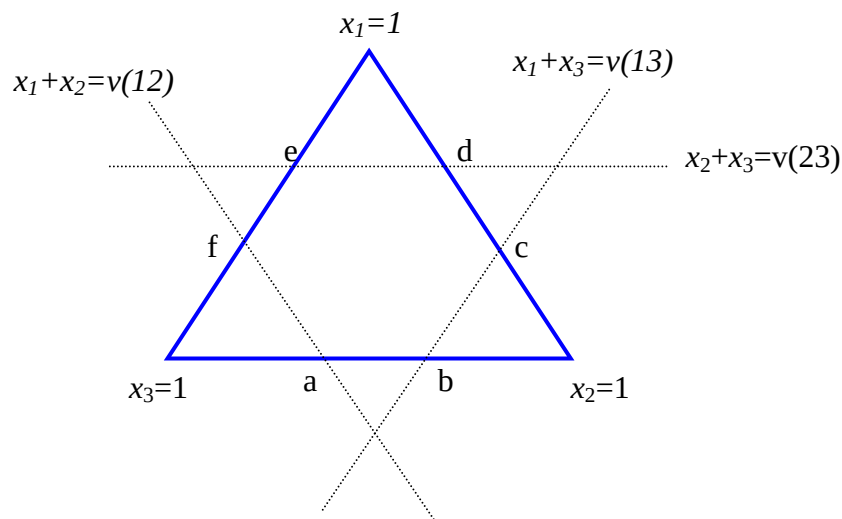
En faisant référence à la relation (3.9), la convexité de ce jeu se formalise par les trois inégalités suivantes :

$$\begin{aligned} v(12) + v(23) &\leq v(N) + v(2) ; \\ v(13) + v(23) &\leq v(N) + v(3) ; \\ v(12) + v(13) &\leq v(N) + v(1). \end{aligned}$$

Le jeu étant normalisé on peut écrire :

$$v(ij) + v(jk) \leq 1 ; \text{ pour tout } \{ij\}\{jk\} \text{ et pour } i, j \text{ et } k \text{ disjoints deux à deux.}$$

Figure 4.3 : Cœur d'un jeu convexe à trois joueurs.



Le simplexe du jeu est représenté par le triangle en gras.

Le Cœur est l'hexagone (a,b,c,d,e,f), sous-ensemble du simplexe. Les vecteurs des contributions marginales sont représentés par les six côtés de l'hexagone, intersection des droites $v(ij)=x_i+x_j$ avec les limites du simplexe $x_1=1$, $x_2=1$ et $x_3=1$.

Jeu de partage de coût concave

Appliquée à un problème de partage de coût, la propriété de convexité comme propriété de non-vacuité du Cœur contenant la VS se transforme en propriété de concavité.

Un jeu de partage de coût est concave lorsque :

$$\text{pour tout } i, \text{ tout } S, T : \\ \left\{ S \subsetneq T \subset N \setminus i \right\} \Rightarrow c(S \cup \{i\}) - c(S) \geq c(T \cup \{i\}) - c(T) \quad (4.10)$$

Le coût marginal d'inclure i décroît au fur et à mesure que la coalition s'élargie. Lorsque la fonction de coût est concave, l'analogie avec le lemme précédent devient : tous les vecteurs des coûts marginaux sont dans le Cœur, et la valeur de Shapley par la même occasion.

Pour résumer, la valeur de Shapley existe même si le Cœur est vide, et cette valeur est le centre de gravité du Cœur lorsque les jeux sont convexes (ou concave pour les jeux de partage de coût).

1.6.4 - Les premières utilisations de la valeur de Shapley

Parmi les premières utilisations de la valeur de Shapley comme critère d'allocation de coût fixes, on peut citer : Littlechild et Owen [1973] pour la répartition des coûts des pistes d'atterrissages entre les avions usagers de la piste ; Loheman et Whinston [1974] pour l'allocation des coûts joints des services publics, les auteurs mettent en exergue le caractère symétrique du traitement des agents comme critère de tarification équitable ; Samet, Tauman et Zang [1984] appliquent la valeur d'Auman-Shapley⁶¹ à un modèle de transport.

⁶¹ Il s'agit d'une application de la VS au cas où la fonction de coût est continue. On parle de mécanisme d'Auman-Shapley eu égard au caractère incitatif de la procédure.

Cette dernière règle est également appliquée à la tarification du téléphone de l'université de Cornwell [Mirman et Tauman 1981].

Ces premières utilisations insistent sur le caractère équitable de la tarification. Littlechild [1970] énumère quatre critères naturels d'équité que devraient respecter les tarifs d'un service public :

- (i) la couverture des coûts occasionnés par la propre demande de chaque groupe de consommateurs,
- (ii) identité des tarifs à service égal pour les consommateurs,
- (iii) non-décroissance de la tarification par rapport à la demande, et
- (iv) tarif moindre pour les consommateurs procurant un bénéfice aux autres.

Reprise par Loehman et Whinston [1974], l'approche est approfondie et conduit à cinq axiomes permettant aux auteurs de justifier économiquement la pertinence de la VS dans le traitement du problème de la tarification équitable. Si N est l'ensemble des usagers du service public, les axiomes de Loehman et Whinston s'énoncent :

- 1 – couverture des coûts totaux,
- 2 – dépendance stricte entre le coût attribué au consommateur i et le coût additionnel occasionné par sa demande,
- 3 – dépendance des tarifs et des niveaux de demande et indépendance avec l'ordre dans lequel les demandes s'expriment,
- 4 – le prix est une fonction homogène de degré un, et
- 5 – cette fonction est deux fois continûment deux fois différentiables.

L'"airport game" de Littlechild et Owen [1973] constitue la première utilisation de la VS pour l'allocation des coûts d'un bien collectif à exclusion, i.e. non rival. Reprise par Littlechild et Thomson [1977], la problématique consistait à déterminer les taxes d'atterrissages imputables aux différentes compagnies aériennes qui utilisent la même piste sur un aéroport. Le problème est celui de l'allocation des coûts fixes $c(\max_i y_i)$ d'une piste d'atterrissage de longueur y_i , longueur déterminée par l'avion le plus volumineux qui atterrit sur la piste en question.

Recherchant une méthode d'allocation de coût équitable, Littlechild et Owen construisent un jeu coopératif ayant pour fonction caractéristique $c(S) = c(\max_S y_i)$, S étant une coalition arbitraire de compagnies aérienne. Les auteurs proposent la valeur de Shapley comme critère d'allocation des coûts⁶². La procédure de répartition des coûts adoptée est la suivante : le coût nécessaire à la construction d'un équipement qui supporte uniquement les petits modèles d'avions est divisé en parts égales entre tous les types d'appareils ; le coût incrémental nécessaire pour construire un second équipement susceptible d'accueillir le second plus petit modèle d'avions est partagé de façon égale entre les mouvements de tous les types d'appareils, sauf le plus petit ; la procédure de répartition des coûts résiduels est répétée jusqu'à ce que l'on parvienne au coût supplémentaire, nécessité par le plus gros modèle, qui est partagé uniquement entre le nombre d'atterrissages de ce type.

Autrement dit, plus formellement, lorsque les agents sont classés dans l'ordre croissant de leur demande y_i , i.e. $y_1 < y_2 < \dots < y_i < \dots y_n$, la valeur de Shapley, telle que décomposée dans la procédure décrite ci-dessus, procède à un partage égalitaire du coût de fourniture isolée de la première demande, i.e. $c(y_i)$, entre tous les agents (joueurs). Ensuite la VS effectue un partage égalitaire du coût incrémental, $c(y_2) - c(y_1)$ entre les agents $2, 3, \dots, n$, ignorant de fait les agents 1, qui ne porte pas la responsabilité de ce coût incrémental dans le coût de production des demandes qui sont supérieures à la leur. A la troisième étape, la VS effectue un partage égal du coût incrémental $c(y_3) - c(y_2)$ entre les agents $3, \dots, n$, ignorant les agents 1 et 2 qui ne portent aucune responsabilité dans la production du bien collectif jusqu'au niveau de la demande y_3 , et donc n'ont pas à subir les externalités de production de ce niveau de la demande.

Cette procédure de partage de coût en série, i.e. le "*Serial Cost Sharing*" [Moulin 1992, 1994], possède des caractéristiques incitatives lorsqu'il existe des possibilités de manipulation stratégiques de l'information privée détenues par les agents, en présence de coût convexe et de préférences convexes [Moulin 1994], lorsque la fonction de coût à une forme générale et les préférences satisfont aux conditions de Spence-Mirlees [Dearden 1998], ou alors lorsque la fonction de coût est symétrique et concave avec des préférences satisfaisant aux conditions de Spence-Mirlees [Tejedo à paraître].

⁶² Littlechild proposera en 1974 la valeur du nucléole comme solution du jeu.

Par ailleurs, le partage de coût sériel satisfait aux propriétés d'équité des bornes individuelles inférieures et supérieures au bien-être des agents.

Avant d'aborder les propriétés incitatives du *serial cost* dans le chapitre 5, nous traitons dans la section suivante de la théorie des bornes individuelles au bien-être.

SECTION 2 : LES BORNES INDIVIDUELLES AU BIEN-ETRE

La question essentielle de la justice distributive est celle de l'allocation de ressources en propriétés communes [Moulin 1990b]. Ces ressources peuvent être un vecteur de biens non produits et dans ce cas nous sommes face à un problème de distribution d'une manne ; mais il peut aussi s'agir d'un problème de production coopérative, la ressource commune est dans ce cas la technologie de production, et une allocation réalisable est une allocation qui spécifie un plan de production, la contribution en inputs de chaque agent, et la part en outputs qui lui est alloué. Dans ce dernier cas de figure, l'output peut être un bien collectif. Les exemples de ressources en propriétés communes sont nombreux. Les fréquences d'émission de radiotéléphonie (distribution d'une manne), l'allocation des coûts d'un réseau de transport public (bien collectif pur) ou encore la tarification d'une facilité publique pour laquelle les rendements d'échelle croissants constituent la ressource commune.

Moulin [1990 a, b, 1991, 1992] propose deux axiomes d'équité pour guider la démarche dans les problèmes d'allocation de ressources en propriété commune. Ces axiomes placent une borne inférieure et une borne supérieure sur le niveau d'utilité atteint par un agent, restreignant ainsi le domaine de variation du bien-être. Ces bornes ont la particularité d'être exclusivement fonction des préférences de chaque agent, et non des préférences des autres. En d'autres termes, le bien être de chaque agent doit être indépendant du choix de vie et donc des préférences des autres agents. L'étude de l'impact des choix de vie des individus sur le bien-être des autres est appréhendée à travers les externalités générées, soit par les préférences individuelles (les externalités de préférences), soit par un groupe d'individus (les externalités de groupe). Outre le principe d'équité du traitement égal des égaux sous-jacent, Moulin insiste également sur une interprétation en terme de responsabilité et exclue une interprétation en termes de besoins. Chaque individu est responsable de ses propres préférences, puisqu'il reconnaît comme

limite à son bien-être la situation hypothétique où il doit partager uniformément les ressources avec tous les autres individus qui lui sont identiques. Les bornes individuelles au bien-être permettent de rendre l'individu comptable de ses propres préférences.

2.1 - Uniformité des externalités sur les préférences - "Uniform Preference Externalities" - UPE

Lorsque les préférences des agents sont identiques, eu égard à la doctrine du traitement égal des égaux, l'allocation équitable des ressources est celle qui conduit au niveau d'utilité réalisable le plus élevé, égal pour tous. Ce premier axiome véhicule l'idée selon laquelle, les différences des préférences des individus sont génératrices d'externalités, positives ou négatives, pour lesquelles tous les agents sont responsables. Ces externalités doivent par conséquent être uniformément réparties entre les individus.

Pour présenter ces axiomes Moulin a recours à une démarche analytique en quatre étapes.

PREMIERE ETAPE : VOILE D'IGNORANCE DANS UNE SITUATION HYPOTHETIQUE

Dans un premier temps, les N agents sont placés dans une situation hypothétique dans laquelle ils ignorent les caractéristiques des autres agents avec lesquels ils vont partager les ressources, ils sont sous un "*voile d'ignorance*". Les seules informations qu'ils possèdent sont celles sur leur propre caractéristique et la taille de la population dans laquelle ils vont prendre place. Les utilités des agents sont supposées ordinales et par conséquent les agents sont dotés de préférences non-intercomparables.

DEUXIEME ETAPE : L'UTILITE D'UNANIMITE

Afin de déterminer la borne au bien-être, l'agent va imaginer la situation fictive suivante :

Ignorant tout des caractéristiques des autres agents, il va imaginer qu'elles sont identiques aux siennes, et définit par-là même un niveau *d'utilité d'unanimité* :

Soit $un(u_i, n)$ le niveau d'utilité que l'agent i peut escompter si tous les autres individus partagent ses préférences. Si tel était le cas, l'agent i serait prêt à procéder à un partage égalitaire des ressources. Ce niveau d'utilité correspond au niveau d'utilité le plus élevé dans une économie où, les fonctions d'utilité des agents sont identiques et le mécanisme d'allocation sélectionne le vecteur des utilités égales réalisable le plus élevé.

TROISIEME ETAPE : IDENTIFICATION DE L'EXTERNALITE DE PREFERENCE

Moulin [1990] définit les situations dans lesquelles un agent, soit bénéficie d'une externalité positive, soit subit une externalité négative. L'impact du poids de l'externalité, imposé par les préférences des autres sur le bien-être d'un agent, va être évalué à l'aune de la différence entre la situation hypothétique et la situation factuelle. En effet, les préférences des agents n'étant pas identiques, chaque agent va comparer son niveau d'utilité factuel $S_i(u_i, \dots, u_n)$ avec le niveau d'utilité d'unanimité $un(u_i, n)$.

Si $S_i(u_i, \dots, u_n) > un(u_i, n)$ l'agent i bénéficie d'externalité positive.

Si $S_i(u_i, \dots, u_n) < un(u_i, n)$ l'agent i supporte une externalité négative.

QUATRIEME ETAPE : ENONCE DU PRINCIPE D'EQUITE

L'axiome UPE écarte la possibilité d'existence, dans une économie, d'agents qui tirent profit de la diversité des préférences individuelles alors que d'autres subissent une externalité négative.

AXIOME UPE [MOULIN 1990 a]

Pour tout profil de préférences $(u_1, \dots, u_n)$ et pour deux agents quelconques i et j:

$$\text{Si } S_i(u_1, \dots, u_n) > un(u_i, n) \quad \text{alors} \quad S_j(u_1, \dots, u_n) \geq un(u_i, n).$$

En d'autres termes, si un agent bénéficie des différences des préférences, alors aucun agent ne doit souffrir de ces différences, au pire l'utilité est égal au niveau d'unanimité.

Les préférences étant non inter-comparables, l'uniformité dans le partage des externalités se traduit par l'imposition, non pas d'une même variation des préférences des agents, mais du sens de variation.

L'axiome d'uniformité des externalités sur les préférences pose des limites sur le bien-être individuel des agents. Ces limites sont fonctions de la position du vecteur d'unanimité $v(un(u_1, n), \dots, un(u_n, n))$ par rapport à la frontière des allocations pareto-optimales de l'économie.

Pour tout profil $(u_1, \dots, u_n)$, lorsque la frontière parétienne est située au-dessus du vecteur d'unanimité, le problème d'allocation est caractérisé par une externalité positive sur les préférences. Par conséquent, l'axiome établit une borne inférieure au niveau d'utilité atteint par l'agent. Ce niveau d'utilité lui garanti de ne pas souffrir, lors de l'allocation des ressources, des différences de préférences, tandis que d'autres agents tirent profit de ces différences.

$$\forall i \in N, S_i(u_1, \dots, u_n) \geq un(u_i, n).$$

De façon symétrique, lorsque la frontière parétienne est situé sous ou sur le vecteur d'unanimité, le problème est caractérisé par des externalités de préférences négatives, et l'axiome UPE établit une limite supérieure au bien-être individuel. Lorsque des agents payent le prix des différences des préférences par une réduction de leur niveau d'utilité, aucun agent ne doit tirer profit de ces différences. L'axiome UPE plafonne le niveau d'utilité à celui correspondant à l'utilité d'unanimité.

$$\forall i \in N, S_i(u_1, \dots, u_n) \leq un(u_i, n)$$

Il est possible de donner une autre interprétation de l'axiome UPE sur les externalités de préférences [Moulin 1990 a]. En présence d'externalités de préférences positives, le niveau d'utilité d'unanimité $un(u_i, n)$ correspond à la fonction de la borne inférieure la plus élevée compatible avec un mécanisme parétien. En effet, imposer l'axiome au mécanisme revient à garantir à chaque agent le niveau d'utilité réalisable le plus élevé compatible avec le traitement égal des égaux.

De façon similaire, en présence d'externalité de préférence négative, ce niveau d'unanimité $un(u_i, n)$ correspond à la borne supérieure la moins élevée des bornes supérieures compatibles avec un mécanisme parétien.

2.2 - Uniformité des externalités de groupe - "Uniform Group Externalities" - UGE

Alors que l'axiome d'UPE pose le problème de l'externalité de préférences, l'axiome UGE pose la question de l'externalité de Groupe. En effet, ce dernier axiome exige que l'impact de la vie en société sur le bien-être individuel soit uniforme. Moulin qualifie d'externalité inhérente au groupe l'enjeu de la coopération entre les différents membres de

la population. La démarche analytique est identique à la précédente. La première étape est celle de la description du voile d'ignorance dans la situation hypothétique de l'identité des préférences.

DEUXIEME ETAPE : LA BORNE DE LIBRE ACCES

Ne pouvant escompter les résultats qu'il peut tirer de la coopération, l'agent imagine qu'il exploite seul la ressource et détermine un niveau d'utilité en "*libre accès*" $un(u_1, 1)$.

TROISIEME ETAPE : IDENTIFICATION DE L'EXTERNALITE DE GROUPE

Au profil de préférence factuel $(u_1, \dots, u_n)$, chaque agent compare son utilité $S_i(u_1, \dots, u_n)$ à son niveau d'utilité en libre accès $un(u_1, 1)$.
Si $S_i(u_1, \dots, u_n) > un(u_1, 1)$, l'écart entre sa situation factuelle et la situation hypothétique est positif, alors l'agent i bénéficie d'*externalité de groupe positive*. Il a tout intérêt à coopérer puisque cette coopération lui procure une satisfaction supérieure à celle où, il aurait été seul à utiliser la ressource. Lorsque l'écart entre la situation factuelle et la situation hypothétique est négatif, alors l'agent perd à la coopération, et donc supporte une externalité de groupe négative.

QUATRIEME ETAPE : ENONCE DU PRINCIPE D'EQUITE

L'axiome d'uniformité des externalités de groupe exige que les individus partagent uniformément ces externalités, qu'elles soient positives ou négatives.

AXIOME UGE [MOULIN 1990 a]

Pour tout profil de préférences $(u_1, \dots, u_n)$, les externalités de groupes de deux agents i et j ne peuvent avoir des signes opposés :

$$\text{Si } S_i(u_1, \dots, u_n) < un(u_i, 1) \Rightarrow S_j(u_1, \dots, u_n) \leq un(u_j, 1).$$

Comme l'axiome précédent, les utilités ordinales des agents empêchent toute comparaison interpersonnelle, l'exigence de l'axiome UGE porte sur le sens de variation de l'utilité. La position de la borne au bien-être est également fonction de la position du vecteur d'accès libre $v(un(u_1, 1), \dots, un(u_n, 1))$ par rapport à la frontière parétienne.

Lorsque la frontière des allocations pareto-optimales se situe sur ou sous le vecteur de libre accès, le problème se caractérise par la présence d'externalités de groupe négatives, et l'axiome UGE pose une borne supérieure au bien-être individuel.

$$S_i(u_1, \dots, u_n) \leq un(u_i, 1)$$

Symétriquement, lorsque la frontière parétienne se situe au-dessus du vecteur d'accès libre, le problème se caractérise par des externalités de groupes positives et l'axiome d'UGE pose une borne inférieure au bien-être individuel.

$$S_i(u_1, \dots, u_n) \geq un(u_i, 1)$$

Lorsque l'axiome contraint le mécanisme, il permet d'instaurer des limites décentralisées sur le bien-être individuel dès lors que dans le problème d'allocation étudié, le vecteur d'accès libre est situé toujours soit au-dessus, soit au-dessous de la frontière des allocations optimales, pour chaque profil de préférence $(u_1, \dots, u_n)$.

2.3 - Les axiomes UPE et UGE dans les modèles de production coopérative

Moulin [1992] suggère que les fonctions borne inférieure au bien-être et borne supérieure au bien-être (BIBE et BSBE par la suite) soient considérées comme des propriétés axiomatiques permettant de guider le choix d'un mécanisme particulier.

Dans les modèles de production en coopération de biens privés (2.1.3.2), la ressource commune est la technologie que les agents partagent. Les externalités, positives ou négatives, sont fonctions des rendements d'échelle, et les bornes au bien-être sont étroitement liées aux niveaux d'utilité en autarcie et à l'utilité d'unanimité. Dans ces modèles, la production est génératrice d'externalités de préférences positives, si et seulement si la fonction de coût est concave. Lorsque cette dernière est convexe, les externalités de préférences sont négatives.

Dans les modèles de production de biens publics (2.1.3.2), l'utilité d'unanimité correspond toujours, quels que soient les rendements d'échelle, à la BSBE, tandis que l'utilité de stand alone est la BIBE.

2.3.1.1 – Les modèles d'offre d'un bien collectif

Dans un problème de contribution à l'offre d'un bien collectif, les agents doivent déterminer le niveau de production du bien collectif y et partager le coût $c(y)$. Si l'ensemble des agents a des préférences identiques $u_i(y, c_i)$, l'allocation équitable consiste à allouer les coûts selon la règle du coût moyen "*per capita*". Étant donnée une allocation de coût uniforme, la demande de tous des agents est satisfaite.

Les externalités de préférences

Le problème de l'offre d'un bien collectif est un cas typique de présence d'externalité des préférences négatives.

En effet, supposons $un(u_i, n)$ le niveau d'utilité unanime d'un agent i . Si les préférences des agents sont identiques, alors ce niveau d'utilité unanime correspond à :

$$un(u_i, n) = \max_{y \geq 0} u_i \left(y, \frac{c(y)}{n} \right),$$

et l'allocation Pareto optimale est celle qui maximise la somme des utilités des agents :

$$\sum_i un(u_i, n).$$

Le vecteur d'unanimité $(un(u_1, n), \dots, un(u_n, n))$ est donc toujours, soit sur la frontière parétienne, soit au-delà de cette dernière.

Par conséquent, dans les problèmes de contribution à l'offre d'un bien collectif, l'axiome d'UPE fixe une borne supérieure au bien-être des agents, au niveau de l'utilité unanime correspondant à l'allocation au coût moyen : aucun agent ne doit bénéficier d'une allocation qui lui procure une satisfaction supérieure au niveau d'utilité que lui procure une tarification au coût moyen du bien collectif. Autrement dit, le vecteur du bien-être d'unanimité correspond toujours à la borne supérieure au bien-être.

Les externalités de groupe

Appliqué au cas de l'offre de biens collectifs, nous sommes en présence d'externalité de groupe positive. En effet, lorsque l'agent i détermine son allocation en libre accès $un(u_i, 1) = \max_{y \geq 0} u_i(y, c(y))$, il calcule le coût de fourniture isolée $c(y)$ de sa propre demande en bien collectif y . Le vecteur d'accès libre correspond donc à la borne de rationalité individuelle. C'est une borne inférieure puisque $v(un(u_1, 1), \dots, un(u_n, 1))$ est

située en dessous de la frontière parétienne. Toute coopération n'altère pas la consommation de i en bien collectif, mais diminue sa contribution et par conséquent accroît son niveau de satisfaction. L'axiome de UGE conduit donc à la contrainte de la rationalité individuelle.

2.3.1.2 - Les modèles de production de biens privés

Dans les modèles de production coopérative de biens privés, les externalités sont étroitement liées à la forme fonction de coût, plus précisément selon que les rendements d'échelle son croissants ou décroissants.

N agents partagent une technologie transformant des inputs x (biens privés) en output (biens privés) $q = f(x)$. Les préférences des agents i sont convexes et sont représentées par la fonction d'utilité $u_i(x_i, q_i)$, décroissant en x_i et croissant en q_i . Les écritures formelles des niveaux d'accès libre et d'unanimité sont les suivantes :

Niveau d'utilité d'accès libre :

$$un(u_i; 1) = \max_{x \geq 0} u_i(x, f(x)).$$

Niveau d'utilité d'unanimité :

$$un(u_i; n) = \max_{x \geq 0} u_i\left(x, \frac{f(nx)}{n}\right).$$

Les théorèmes 1, 2 et 3 de Moulin [1992] établissent les résultats suivants

La fonction de bien-être d'unanimité est la fonction borne inférieure si et seulement si la fonction de coût $f(nx)$ est convexe. Elle est une fonction borne supérieure si et seulement si la fonction de coût $f(nx)$ est concave.

Par ailleurs, le niveau de bien-être d'accès libre (ou Stand Alone) est une fonction borne supérieure si et seulement si la fonction de coût $f(nx)$ est sur-additive⁶³. Elle est une borne inférieure si et seulement si la fonction de coût $f(nx)$ est sous-additive.

Ces deux axiomes ont été étudiés séparément mais la question de leur compatibilité reste posée. Imposer ces deux axiomes aux mécanismes, revient à rechercher les

allocations satisfaisant les deux tests. De telles allocations peuvent alors être qualifiées d'équitables au sens où la diversité des préférences exerce la même influence sur le bien-être des agents. Tous les agents tirent le même bénéfice ou partagent les mêmes charges de la vie en communauté ou de la coopération.

Les résultats généraux qui peuvent être établis [Moulin 1990 a] sur la compatibilité des deux axiomes excluent les problèmes d'allocation pour lesquels les signes des externalités peuvent varier d'un profil de préférence à l'autre. Lorsque le sens de chaque externalité est constant dans le domaine de préférences, la compatibilité est assurée.

SECTION 3 : PARTAGE DE COUT SERIEL

3.1 - La règle du coût sériel dans la production en coopération de biens privés

La règle du CS se décline de la façon suivante : nous nous situons dans le cadre de l'utilisation d'une technologie commune à plusieurs agents.

La fonction de coût C est supposée continue croissante et strictement convexe.

$$c\left(\sum_i q_i\right)$$

Le coût total est alloué entre les n agents. Chaque agent annonce sa demande q_i d'output.

Les demandes $q_1, \dots, q_n$ des n agents sont classées dans l'ordre croissant : $q_1 \leq q_2 \leq \dots \leq q_n$.

On notera :

$$q^0 = 0 ; q^1 = nq_1 ; q^2 = q_1 + (n-1)q_2 ; \dots ; q^i = q_1 + \dots + q_{i-1} + (n+1-i)q_i ; \dots ; q^n = \sum_i q_i .$$

Le tableau 4.1 illustre la décomposition de la formule du coût sériel. Dans la première colonne figurent les demandes q_i des agents, ordonnées de la façon suivante : $q_1 \leq q_2 \leq \dots \leq q_n$. Ces demandes sont ensuite "éclatées" dans les colonnes suivantes de telle sorte à faire apparaître les niveaux de demandes incrémentales. La dernière colonne permet de mettre en exergue l'allocation de coût en série. Chaque affectation de coût à un niveau

⁶³ Pour une fonction f telle que $f(0)=0$, la concavité implique la sous-additivité et la convexité implique la sur-additivité.

de demande q_i , égale à la somme des coûts incrémentaux $c^{Inc}((n-i)q_{i+1}^{Inc}) = c(q^{i+1}) - c(q^i)$, est indépendante des demandes qui lui sont supérieures.

A la dernière ligne apparaît également en exergue le partage égalitaire du coût de production de chaque niveau de demande. A la étape, l'ensemble des n agents se partagent uniformément le coût $c(nq_1)$ du vecteur de demande $(q_1, \dots, q_1)$. A la deuxième étape, les $(n-1)$ agents $(2, \dots, n)$ restant se partagent uniformément le coût incrémental $c^{Inc}((n-1)q_2^{Inc})$ du vecteur de demande incrémental $(q_2^{Inc}, \dots, q_2^{Inc})$. L'allocation sérielle des coûts est identique pour tous les agents ayant annoncé une demande au niveau q_2 .

Conformément à la notation adoptée au tableau 4.1, elle est égale à $\frac{c(q^1)}{n} + \frac{c(q^2) - c(q^1)}{n-1}$

et correspond à la couverture des coûts du vecteur de production $(q_1, q_2, \dots, q_2)$, et ainsi de suite. Chaque niveau de production est totalement satisfait et le coût de production totalement couvert. L'allocation sérielle des coûts de production d'une technologie est une allocation qui satisfait l'équilibre budgétaire.

Tableau 4.1 : Décomposition des demandes et affectation du coût incrémental, bien privé

q_i	Notation : $q^0 = 0 ; q^1 = nq_1 ; q^2 = q_1 + (n-1)q_2 ; \dots ; q^i = q_1 + \dots + q_{i-1} + (n+1-i)q ; \dots ; q^n = \sum_i q_i$										coût sériel : x_i		
q_1	=	q_1									$\frac{c(q^1)}{n}$		
q_2	=	q_1	+	q_2^{Inc}							$\frac{c(q^1)}{n} + \frac{c(q^2) - c(q^1)}{n-1}$		
q_3	=	q_1	+	q_2^{Inc}	+	q_3^{Inc}					$\frac{c(q^1)}{n} + \frac{c(q^2) - c(q^1)}{n-1} + \frac{c(q^3) - c(q^2)}{n-2}$		
.											.		
.											.		
.											.		
q_n	=	q_1	+	q_2^{Inc}	+	q_3^{Inc}	+	...	+	q_{n-1}^{Inc}	+	q_n^{Inc}	
Coût incrémental		$c(nq_1)$		$c^{Inc}((n-1)q_2^{Inc})$		$c^{Inc}((n-2)q_3^{Inc})$		$c^{Inc}(2q_{n-1}^{Inc})$		$c^{Inc}(q_n^{Inc})$			
x_i	=	$\frac{c(nq_1)}{n}$	+	$\frac{c^{Inc}((n-1)q_2^{Inc})}{n-1}$	+	$\frac{c^{Inc}((n-2)q_3^{Inc})}{n-2}$	+	...	+	$\frac{c^{Inc}(2q_{n-1}^{Inc})}{2}$	+	$c^{Inc}(q_n^{Inc})$	$\sum_{k=1}^i \frac{c(q^k) - c(q^{k-1})}{n+1-k}$
	Coût incrémental du passage du niveau de la demande $(n-i+1)q_i$ à $(n-i)q_{i+1}$:												
	$c^{Inc}((n-i)q_{i+1}^{Inc}) = c(q^{i+1}) - c(q^i)$												
$q_1 \leq q_2 \leq \dots \leq q_n$													

1. L'agent 1, ayant annoncé la plus faible demande q_1 , se voit allouer une quote-part du coût total égale à $\left(\frac{1}{n}\right)^{\text{ième}}$ du coût de production de nq_1 . Cette quote-part correspond au partage égalitaire de la production de n fois le niveau de sa demande q_1 . Elle est égale à $x_1 = \frac{c(nq_1)}{n}$.

L'agent 2, ayant formulé le niveau de demande q_2 , a une allocation de coût qui se décompose en deux parties. La première part est identique à celle de l'agent 1, à savoir $\frac{c(nq_1)}{n}$. Cette quote-part couvre le coût de production de sa demande jusqu'au niveau q_1 . La deuxième part de son allocation de coût correspond au partage égalitaire du coût incrémental de production inhérent au passage de la demande du niveau nq_1 au niveau $(n-1)q_2$. Les "responsables" de cet accroissement de coût (coût convexe) sont les $(n-1)$ agents i , dont la demande $q_{i \geq 2} \geq q_1$. Pour cela, il nous faut définir la fonction de coût incrémental que l'on note $c^{Inc}\left(\sum_{i \geq 2} q_i^{Inc}\right)$, avec $c^{Inc}\left(\sum_{i \geq 2} q_i^{Inc}\right) = c(q^1 + q^2) - c(q^1) = c^{Inc}((n-1)q_2^{Inc})$.

On procède par la suite au même partage égalitaire de ce coût incrémental entre les $(n-1)$ agents i , $i \geq 2$. Le coût incrémental affecté à chacun des agents ayant un niveau de demande au moins égal à q_2 est :

$$\frac{c^{Inc}((n-1)q_2^{Inc})}{n-1}$$

Par conséquent, le coût alloué à un agent 2 est le suivant.

$$x_2 = \frac{c(q^1)}{n} + \frac{c(q^1 + (n-1)q^2) - c(q^1)}{n-1}.$$

3.2 - Comparaison de la tarification au coût sériel, au coût moyen et au coût marginal

Nous proposons d'illustrer par un exemple les modalités de calcul de l'allocation de coût telle que définie par la règle sérielle décrite ci-dessus. En outre, dans l'objectif de mettre en exergue les deux propriétés d'équité discutées ci-dessus, à savoir la BIBE et la BSBE, dans un problème de partage de coût, nous procédons à une comparaison entre une

tarification au coût marginal, une tarification au coût moyen et une tarification au coût sériel.

Soit la fonction de coût strictement convexe suivante : $c(q) = q^2$. Et soit trois agents dont les demandes sont respectivement de $q_1=3$, $q_2=6$ et $q_3=10$ unités d'output.

Tarification au coût sériel

- Coût alloué à l'agent 1.

Le coût de production du vecteur de demande (3,3,3), c'est-à-dire de trois fois le niveau de la demande q_1 , est de 81. Ce coût de production est à partager uniformément entre les 3 agents. Le coût alloué au niveau q_1 de la demande est donc de :

$$x_1 = \frac{c(3q_1)}{3} = 27.$$

On notera que cette allocation de coût satisfait à la contrainte de coût de fourniture isolée, la coalition étant formée par l'ensemble des agents ayant le même niveau de demande.

- Coût alloué à l'agent 2.

Le vecteur de demande considéré est : (3,6,6). Le niveau de la demande passe de 81 à 225 ($= q_1 + 3q_2$). Le coût de production est passé du 81 à 225. Le coût incrémental est donc de :

$$c(q_1 + 2q_2) - c(3q_1) = 225 - 81 = 144.$$

Cette charge incrémentale est à partager uniformément entre les $((n-1)=2)$ agents restants. L'agent 2 ayant annoncé q_2 ne paye donc que la moitié de ce coût incrémental, i.e. 72 qu'il partage avec l'utilisateur 3. Le coût alloué à la demande q_2 est donc : $27+72=99$.

$$x_2 = \frac{c(3q_1)}{3} + \frac{c(q_1 + 2q_2) - c(3q_1)}{2} = 99$$

- Coût alloué à l'agent 3.

La charge incrémentale est de : $361-225=136$, $x_3 = 27 + 72 + 136 = 235$. En effet, le coût incrémental de production de la demande de l'agent 3 est de 136, qu'il est seul à prendre en charge.

Pour résumer la procédure telle que nous l'avons décrite dans le tableau 4.1 :

Tableau 4.2 : décomposition de l'allocation de coût sériel

Demande de l'agent i : q_i	3	6	10
Niveau de production : nq_i	9	15	19
Coût de production : $c(nq_i)$	81	225	361
Coût incrémental de : $c^{Inc}((n-i)q_{i+1}^{Inc})$	81	144	136
Nombre d'agent restant dans le jeu	$n=3$	$n-1$	$n-2$
Partage égal du coût incrémental	$\frac{81}{3} = 27$	$\frac{144}{2} = 72$	$\frac{136}{1} = 136$
Coût alloué x_i	27	99	235

Tarification au coût moyen

Le coût total de production des 19 unités est de 361 et le coût moyen unitaire, CM, de 19. Chaque agent se voit donc facturer $x_i = q_i CM$, et par conséquent l'allocation de coût est la suivante :

$$x_1 = 57, \quad x_2 = 114, \quad x_3 = 190.$$

Tarification au coût marginal

Pour la tarification au coût marginal, chaque agent est doté de 120,33 unités d'inputs et paye 38, le coût marginal pour chaque unité d'output.

Le coût marginal de production de la 19^{ème} unité d'output est de 38, $Cm = \frac{\partial C(q)}{\partial q} = 2q$. La demande du premier agent est satisfaite pour un prix nul. En outre il lui reste 6,33 unités inputs. Les coûts respectifs payés par les agents 2 et 3 sont les suivants: $x_2 = 107.67$ et $x_3 = 259.67$.

Les allocations de coût résultant des trois règles d'allocation des coûts sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4.3 : Comparaison des trois modes de tarification

Demandes	q1=3	q2=6	q3=10
Tarification au Coût sériel	27	99	235
Tarification au Coût moyen	57	114	190
Tarification au Coût marginal	0	107.67	269.67

Allocation de coût et bornes individuelles au bien-être

Pour l'agent 1, l'allocation d'unanimité est celle qui correspond à un niveau de production de 9 unités d'outputs et à un partage égal du coût, le coût d'unanimité. Par conséquent,

$$un(u_i, n) = \max_{q_i \geq 0} \left(q_i, \frac{c(nq_i)}{n} \right) = (3, 27).$$

La technologie étant convexe, le vecteur d'utilité d'unanimité correspond à la borne inférieure au bien-être individuel.

L'allocation correspondant au niveau d'utilité d'accès libre est celle de la contrainte du coût de fourniture isolée, et détermine la borne supérieure au bien-être.

$$un(u_i, 1) = \max_{q_i \geq 0} (q_i, c(q_i)) = (3, 9).$$

Le tableau qui suit rassemble les résultats des allocations (q_i, c_i) correspondant aux deux bornes au bien-être.

Agent	1	2	3
Vecteur d'unanimité – BIBE $un(u_i, n) = (q_i, c_i(q_i))$	(3,27)	(6,108)	(10,300)
Vecteur d'accès libre - BSBE $un(u_i, 1) = (q_i, c_i(q_i))$	(3,9)	(6,36)	(10,100)

Eu égard aux axiomes d'équité UPE et UGE discutés précédemment, seule l'allocation de coût au coût sériel satisfait aux tests qui limitent les niveaux d'utilité des agents. En effet, on notera qu'avec le mécanisme de tarification au coût marginal, la demande de l'agent 1 est satisfaite gratuitement. Ce tarif est insuffisant, dans la mesure où

l'agent 1 ne paye même pas le coût marginal $C(q_1)=9$ de la production de sa seule demande. En effet, rappelons que l'axiome de l'uniformité des externalités de groupe UGE impose, à l'utilisateur d'une technologie à rendements décroissants, de contribuer à un niveau qui correspond au coût qu'il aurait supporté s'il avait été l'unique bénéficiaire de la technologie. L'agent 1 ne doit pas bénéficier de la présence des autres utilisateurs et des externalités positives de production au-delà de la satisfaction limitée par la BSBE. Lorsque la fonction de coût est convexe, le mécanisme d'allocation des coûts selon la règle du coût marginal ne satisfait pas au test du Stand Alone.

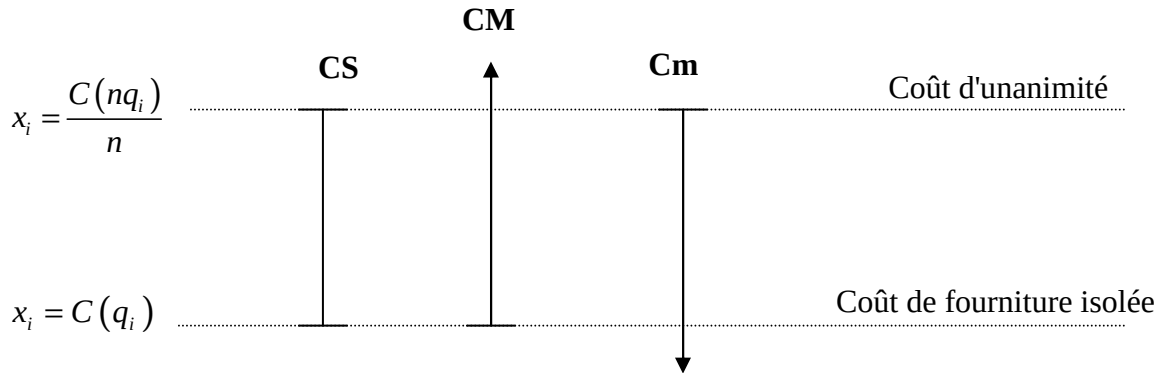
Par ailleurs, la tarification au coût moyen impose à l'agent 1 une contribution trop "élevée". En effet, le coût moyen de 19 est imposé par les demandes des agents 2 et 3. Si les agents avaient des demandes identiques $q_i=3$, c'est-à-dire des préférences identiques à celle de l'agent 1, le coût moyen de production aurait été de 9, et la contribution demandée à l'agent 1 aurait été de 27. La contribution de l'agent 1 est donc dépendante des préférences des agents qui ont exprimé de demandes supérieures. L'agent 1 subit des externalités de préférences négatives des agents 2 et 3. La tarification au coût moyen ne satisfait donc pas au test d'équité de l'uniformité des externalités de groupe.

Par conséquent, l'allocation de coût x_i satisfaisant aux deux axiomes d'équité doit être comprise entre le coût de fourniture isolée $c(q_i)$ et le coût unanime $\frac{C(nq_i)}{n}$.

$$c(q_i) \leq x_i \leq \frac{c(nq_i)}{n}$$

Comme l'illustre le graphique ci-dessous, le coût sériel est compris entre le coût de fourniture isolée et le coût d'unanimité. Alors que cette propriété est générale pour le partage de coût sériel [Moulin 1992], elle ne l'est pas, ni pour le coût moyen ni pour le coût marginal. Nous illustrons schématiquement les trois mécanismes d'allocation de coût de la façon suivante :

Figure 4.4 : Domaine de variation des allocations de coût équitables



Anonymat et indépendance des demandes supérieures :

- Cette présentation du coût sériel permet de mettre en évidence deux importantes propriétés de la formule : l'anonymat, i.e. la permutation de deux demandes n'a comme conséquence que la permutation des coûts alloués, et l'indépendance par rapport aux demandes supérieures. La première propriété a déjà été évoquée lors de la construction de la VS. Quant à la seconde, elle s'écrit :

Indépendance des demandes supérieures :

pour tout $q, q' \in \mathbb{R}_+^n$ et $i \in N$:

$\{q \leq q', \text{ et } q_j = q'_j \text{ pour } j = i \text{ et pour tout } j / q_j < q_i\}$

alors $\xi_i^S(C, q) = \xi_i^S(C, q')$

ξ_i^S est le coût alloué à l'agent i par le mécanisme sériel d'allocation. Supposons

$q_1 = \min_i q_i$, alors la contribution $x_1 = \frac{\sum C(nq_i)}{n}$ reste inchangée lorsque le vecteur q est

remplacé par le vecteur q' dont les coordonnées sont toutes égales à q_1 .

Toute modification à la hausse des demandes des agents q_i , $i \geq 2$, n'a aucune incidence sur l'allocation des coûts aux agents 1.

Plus précisément, le coût alloué aux agents 1 est indépendant des externalités, accroissement ou diminution du coût marginal et moyen engendré par les demandes $q_i > q_1$ générées par les demandes q_i , $i \geq 2$.

3.3 - Coût sériel et production de bien collectif à exclusion

La première version du coût sériel de Moulin et Schenker [1992] suppose une technologie commune disponible en une seule copie. Les n agents utilisateurs devaient se partager la charge de la production de la technologie selon la règle du coût sériel.

Lorsqu'il s'agit d'un bien collectif, ou alors lorsque la fonction de coût est concave, la coopération est potentiellement avantageuse pour chacun des agents. Moulin [1994] aborde la question du partage du coût d'un bien collectif dans le cas où la fonction de coût est convexe.

Comme nous avons déjà eu l'occasion de le mentionner, la participation d'un agent supplémentaire à la production du bien collectif ne réduit pas la consommation du reste des agents ; en revanche, elle contribue à la réduction du coût alloué à chacun des n agents, et, par tant, améliore la satisfaction de chacun.

Le fait que dans ce cas, le coût de fourniture isolée constitue une borne inférieure au bien-être en est une illustration. Toute coopération avec un agent supplémentaire ne peut qu'élever l'utilité de chaque agent au-delà de cette borne par la réduction de la contribution de chacun.

Le partage de coût sériel s'applique aux cas de bien collectif excluable. Le principe est le même que la règle décrite dans le cadre d'un bien privé, c'est-à-dire que les demandes des agents sont classées dans l'ordre croissant et le coût est alloué eu égard au coût incrémental nécessaire à la satisfaction des préférences de chaque niveau de demande. Le niveau de production est celui de la plus importante demande et le coût de production s'écrit : $c(\max_{i=1,\dots,n} y_i)$. Les agents peuvent consommer le bien collectif sans rivalité et simultanément, en revanche, ils sont exclus de l'usage de certaines quantités. Le partage de coût sériel a lieu de façon identique à celle décrite pour le cas du bien privé. Seule l'écriture formelle est légèrement modifiée. Le tableau 4.2 décrit la décomposition de la formule du coût sériel dans le cadre d'un bien collectif à exclusion.

Les demandes ayant été classées dans l'ordre croissant, l'agent ayant annoncé la plus faible demande se voit affecté un coût égal à :

$$x_1(y) = x_1(y_1, \dots, y_n) = \frac{c(y_1)}{n}$$

L'agent 2 pour lequel q_2 est la deuxième plus faible demande reçoit également une allocation de coût égal à $\left(\frac{1}{n-1}\right)^{\text{ième}}$ du coût de production de son vecteur d'unanimité $(y_1, y_2, \dots, y_2)$, c'est-à-dire :

$$x_2(y) = x_2(y_1, y_2, \dots, y_2) = \frac{c(y_2) - x_1}{n-1} = \frac{c(y_2) - \frac{c(y_1)}{n}}{n-1} = \frac{c(y_2)}{n-1} - \frac{c(y_1)}{n(n-1)}.$$

On réitère la procédure pour le troisième agent

$$x_3(y) = x_3(y_1, y_2, y_3, \dots, y_3) = \frac{c(y_3) - (x_1 + x_2)}{n-2} = \frac{c(y_3)}{n-2} - \frac{c(y_2)}{(n-1)(n-2)} - \frac{c(y_1)}{n(n-1)},$$

et ainsi de suite pour le $i^{\text{ème}}$ agent

$$x_i = \frac{c(y_i)}{n-i+1} - \sum_{j=i-1}^1 \frac{c(y_j)}{(n-j+1)(n-j)}.$$

Tableau 4.4 : Le coût sériel dans le cas d'un bien collectif

$y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_n$		coût sériel $x_i =$
y_1	$= y_1$	$\frac{c(y_1)}{n}$
y_2	$= y_1 + y_2'$	$\frac{c(y_2) - x_1}{n-1}$
y_3	$= y_1 + y_2' + y_3'$	$\frac{c(y_3) - (x_1 + x_2)}{n-2}$
.		.
.		.
.		.
y_n	$= y_1 + y_2' + y_3' + \dots + y_{n-1}' + y_n'$	
x_i	$= \frac{c(y_1)}{n} + \frac{c^{Inc}(y_2^{Inc})}{n-1} + \frac{c^{Inc}(y_3^{Inc})}{n-2} + \dots + \frac{c^{Inc}(y_{n-1}^{Inc})}{2} + c^{Inc}(y_n^{Inc})$	
Coût incrémental du passage du niveau de production y_{i-1} à y_i : $c^{Inc}(y_i^{Inc}) = c(y_i) - c(y_{i-1})$		

A l'instar de la même règle appliquée au partage de coût de bien privé, l'équilibre du jeu coopératif de partage de coût d'un bien collectif à exclusion satisfait aux exigences des axiomes UPE et EGE.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons adopté le cadre analytique de la théorie des jeux coopératifs. Il s'agissait de déterminer les solutions socialement acceptables et préférées par l'ensemble des agents qui participent au jeu. Eu égard aux critères d'équité, la BIBE et la BSBE, l'allocation des coûts selon le principe sériel apparaît comme la règle pertinente et susceptible de remporter l'adhésion de l'ensemble des acteurs. En outre, l'approche probabiliste peut être évoquée comme critère de justice quant à l'allocation initiale des droits de propriété d'une ressource environnementale, comme une alternative à l'allocation selon le principe du premier arrivé, premier servi, "*first in use first in right*".

Implicitement, nous supposons dans ce chapitre l'existence d'un méta-agent garantissant la signature de contrats ayant force de loi entre les co-contractants. Autrement dit, on ne souciait pas de la mise en œuvre des solutions.

Or, notre cadre d'analyse porte sur l'offre d'un bien public international, avec une possibilité d'exclusion d'usage, la ressource en eau est une propriété commune appartenant

aux deux entités politiques. Notre bien public est tel que nous l'avons défini dans le troisième chapitre. Le partage équitable des coûts du bien public peut constituer une alternative à la solution de marché, dans la mesure où cette solution contourne le problème de l'allocation initiale des droits de propriété. Mais, il nous faut alors lever l'hypothèse de l'existence d'un méta-agent dans la mesure où les Etats sont souverains.

Or, précisément, quelle différence y a-t-il entre la valeur de Shapley appliquée à l'allocation de coût tel que le problème de l'"*airport game*" et le même concept, le "*Serial Cost-Sharing*" de Moulin et Shenker [1992], et Moulin [1994] ? La réponse réside dans la forme de la coopération envisagée.

Deux modes de coopération peuvent en effet être envisagés. La coopération par accords directs, c'est le cas du jeu de construit par Littlechild et Owen [1973], ou bien la coopération comme le résultat de la convergence des comportements décentralisés des agents.

Dans le premier cas, nous nous situons dans le cadre de la théorie des jeux coopératifs. Les agents se partagent les coûts d'une technologie commune, ou le financement d'un bien collectif, par un accord direct, i.e. par la formation de coalition.

Dans le second cas, nous nous situons dans le cadre de la théorie des jeux non coopératifs. Dans ce cas deux hypothèses sont posées. Il n'y a pas de coût de transaction, et les agents n'ont pas la possibilité de communiquer entre eux. Ils ne cherchent pas à réaliser d'alliances stratégiques.

Notre agence internationale de l'eau (AIE) se trouve face à deux problèmes. Un problème de partage de coût et un problème décision collective. Le premier problème est supposé résolu, puisque nous supposons que l'AIE choisit le coût sériel. Dans l'objectif d'implémenter la solution, il lui reste à obtenir des Etats leurs préférences pour le BPI. Cette information est la propriété de chaque Etat. Elle confère à son détenteur un pouvoir stratégique, dont il va user afin de manipuler l'allocation finale. Annoncer un bénéfice retiré d'un bien collectif inférieur à celui véritablement tiré de la consommation de ce dernier constitue une forme de manipulation dont l'objectif serait de réduire sa contribution.

Les travaux de Moulin et Shenker sur le serial cost [Moulin et Shenker 1992-1996, Moulin 1994], ainsi que les travaux des autres auteurs ayant traité de l'extension et de la

généralisation du mécanisme sériel [Dearden 1998, De Frutos 1998, Sprumont 1998, Koster *et al.* 1998, Rajat et Debt 2000] peuvent être perçus comme un élargissement, de la théorie des jeux coopératifs aux jeux non coopératifs, du champ d'application d'une formule aux propriétés d'équité remarquables, la valeur de Shapley. En d'autres termes, après avoir envisagé l'utilisation de la formule de Shapley dans un mode de coopération directe, les auteurs cités étudient l'utilisation de celle-ci dans un mode de coopération décentralisée. Les problèmes à traiter sont identiques. Il s'agit de partage des coûts de production soit d'une technologie commune, soit d'un bien collectif, et plus précisément du problème de la présence d'externalités de production et de leur internalisation.

Supposons alors que les deux entités politiques soient d'accord sur le principe consistant à considérer la ressource comme une propriété commune et en confient la gestion à une AIE. L'accès à la ressource ne peut s'effectuer qu'à travers la participation au financement du bien public.

Le comportement des agents reste décentralisé, l'information sur les préférences est détenue de façon privative, et l'objet de l'AIE est de parvenir à faire converger le comportement décentralisé des agents vers une production jointe efficace. Nous nous situons donc dans le cadre d'un jeu non coopératif en information incomplète.

La théorie des jeux non coopératifs constitue le cadre analytique de notre prochain chapitre dont l'objectif consiste à répondre à la question : comment mettre en œuvre les règles sur lesquelles les n joueurs se sont entendus par un accord direct ? Autrement dit, sous quelles conditions, la solution préconisée dans ce chapitre peut-elle être concrétisée dans un contexte tel que le nôtre, où il n'existe pas de méta-agent garantissant les accords, et où l'information détenue par les agents leur confère un pouvoir de manipulation stratégique.

CHAPITRE 5

MECANISMES INCITATIFS :

EFFICACITE

VERSUS

EQUILIBRE BUDGETAIRE ET PARTICIPATION VOLONTAIRE

INTRODUCTION

Nous nous situons dans le cadre de la production d'un bien public et la problématique théorique est celle de la révélation des préférences, i.e. celui du passager clandestin.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux mécanismes incitatifs appliqués à l'offre d'un bien public. Plus précisément, deux catégories de mécanismes incitatifs retiennent notre attention, le mécanisme du pivot et le mécanisme sériel. Ces deux familles de mécanismes sont des mécanismes directs révélateurs. Néanmoins, ils diffèrent par les propriétés auxquelles ils satisfont. Nous procédons ici à une comparaison de ceux-ci. Nous traitons de la compatibilité entre les propriétés d'incitation - IC - ("*strategyproof*", implicitement en stratégies dominantes), d'incitation de groupe - ICG - ("*coalition strategyproof*"), de rationalité individuelle - RI - ou de rationalité individuelle en autarcie - RIA - et d'optimalité de Pareto - OP.

L'IC a pour objectif de parer à la manipulation stratégique du mécanisme par les agents-Etats, ou par les coalitions d'agents-Etats - ICG ;

la RI, en économie d'échange, est suffisante pour que la participation au mécanisme soit volontaire ;

la RIA, en économie avec production, sera préférée à la RI. Dans ce cas, la participation au mécanisme sera qualifiée de fortement volontaire tandis que la première propriété la participation volontaire est faible ;

l'efficacité ex-post du mécanisme signifie que celui-ci concrétise le niveau optimal de la production du bien public,

et l'OP constitue la propriété normative de l'efficacité de l'allocation des ressources de l'économie, en l'occurrence, il s'agit de l'efficacité ex-post de la production et de l'équilibre budgétaire.

Dans une première section, nous rappelons, par quelques définitions, la problématique de la concrétisation d'une fonction de choix social (1.1). Concrétiser une fonction de choix social revient à construire un mécanisme qui, compte tenu du comportement stratégique prévisible des Etats-joueurs dans le jeu non coopératif, permet de parvenir à un Etat social prédéterminé.

Le concept de solution du jeu retenu détermine la robustesse du mécanisme (1.2). Parmi ces concepts de solution, celui qui fait l'unanimité dans la littérature, quant à la robustesse du mécanisme, est la concrétisation en stratégies dominantes. Toutefois, les résultats de Gibbard[1973] et Satterthwaite [1975] dressent un sérieux obstacle quant à la recherche de fonction de choix social concrétisable en stratégies dominantes (1.3). Ce résultat peut être énoncé de la façon suivante : lorsque l'environnement économique est non restreint, il n'existe pas de fonction de choix social concrétisable en stratégies dominantes.

Deux axes de recherches sont alors explorés pour tenter de dépasser ce théorème d'impossibilité.

Le premier, sur laquelle nous ne nous attarderons pas, consiste à affaiblir le concept de solution retenu pour la concrétisation, à savoir la concrétisation en équilibre Bayésien et la concrétisation en équilibre de Nash.

La seconde voie de recherche propose de préserver la concrétisation en stratégies dominantes mais au prix d'un affaiblissement de l'environnement économique. Il apparaît alors que les seuls mécanismes incitatifs le sont en environnement quasi-linéaire. Green et Laffont [1977, 1979] caractérisent la gamme des mécanismes incitatifs en stratégies dominantes (2.1) et montrent que tous les mécanismes incitatifs sont des mécanismes de

Groves et seuls les mécanismes de Groves sont des mécanismes incitatifs. L'étude de ces mécanismes est l'objet de la deuxième section.

Nous illustrons le fonctionnement du mécanisme du Pivot, un cas particulier des mécanismes de Groves, dans une application à l'offre d'un bien public (2.2). L'objet de cette illustration est de mettre en exergue les propriétés auxquelles satisfont ces mécanismes incitatifs, et surtout celles qu'ils ne satisfont pas, la RI, la RIA, l'OP et l'équilibre budgétaire (2.3). En outre, la décomposition de la règle d'allocation de coût du mécanisme du Pivot fournit une interprétation économique de la surtaxe que fait peser celui-ci sur les agents pivots dont les préférences font basculer la décision collective du choix du projet. En effet, cette surtaxe, imposée aux agents pivots, est égale au coût de l'externalité des préférences de ces derniers sur le reste de la société. Le montant de cette dernière peut être beaucoup trop élevé. La dernière propriété à laquelle ne répond le mécanisme du Pivot est celle de la robustesse à la manipulation de coalitions de groupe, l'ICG.

Par ailleurs, la littérature sur la concrétisation met en exergue une incompatibilité entre les propriétés de *strategyproof* et l'optimalité parétienne, justifiant l'abandon de l'OP lorsque la priorité porte sur la résistance aux manipulations.

Depuis une dizaine d'années, la littérature sur les mécanismes directs IC en stratégies dominantes s'est enrichi d'un nouveau mécanisme, le mécanisme sériel. En effet, Moulin et Shenker [1992] et Moulin [1994], ont exploité le théorème de Dasgupta, Hammond et Maskin [1979], ainsi que celui de Maskin [1985], pour montrer que sur un environnement économique plus large que celui des quasi-linéaires, précisément un domaine de préférence *riche*, la règle sérielle de partage de coût (chapitre 4), associé à une règle de décision collective différente de celle du Pivot, concrétise, en stratégies dominantes, la fonction de choix social sérielle, mais au prix d'une exclusion partielle de l'usage du bien public. L'objet de la troisième section est justement la présentation du mécanisme sériel de partage de coût. Outre les propriétés d'équité de la formule présentées au chapitre précédent, ce mécanisme est IC, RI, RIA et satisfait à l'équilibre budgétaire. En revanche, par rapport à son concurrent le pivot, il dispose de l'inconvénient de ne pas être efficace *ex-post*. Le niveau sériel de production du bien public reste inférieur au niveau efficace.

Dans la mesure où les deux mécanismes présentés ici ne sont pas PO, parmi la gamme des mécanismes IC, un choix, au sens de l'abandon, doit être fait entre les

propriétés EF et RI, qui sont incompatibles. Le dilemme se présente donc de la façon suivante :

Efficacité ex-post versus Equilibre Budgétaire et Participation Volontaire.

Dans la section 4, reléguant l'incitation au second plan, nous effectuons une comparaison, en termes de surplus collectif, de ces deux mécanismes d'allocation de coûts. Dans le cas particulier que nous traitons, le surplus collectif du sériel l'emporte sur celui du Pivot.

SECTION 1 : CONCRETISER UNE FONCTION DE CHOIX SOCIAL

"It is the absence of such a mechanism which has been called the "free rider" problem in the theory of public goods, and the problem of "strategic voting" arise because voting sincerely –according to one true preferences – is not necessarily an equilibrium strategy."

[Dasgupta, Hammond et Maskin. 1979 p.188]

Le problème de la concrétisation naît dans un cadre d'asymétrie d'information et de conflit d'intérêt entre un décideur, non informé, et les n agents à qui l'information privée sur leurs propres caractéristiques confère un pouvoir stratégique de manipulation de l'allocation finale. Le problème de la décentralisation de la décision est représenté par un jeu non coopératif en information incomplète.

1.1 - La problématique

Collecter l'information

Nous sommes dans un contexte où, un décideur doit prendre une décision collective - mettre en place un projet et faire exécuter un règle d'allocation de coût - en fonction des caractéristiques des agents (les préférences, les dotations, les possibilités de production ou les dispositions à payer) qui sont inconnues de lui.

DEFINITION 5.1 : CARACTERISTIQUES DES AGENTS

Soit $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_N) \in \Theta_1 \times \dots \times \Theta_N$ le profil des caractéristiques des agents. θ_i étant la caractéristique de l'agent i et Θ_i l'ensemble des caractéristiques de l'agent i .

Supposons que le décideur ait arrêté son choix sur une fonction de choix social f . Cette fonction de choix social rassemble les objectifs de la société que le décideur veut voir réaliser. Une telle fonction détermine l'ensemble des états sociaux réalisables pour chaque configuration de préférences individuelles. Soit Z l'ensemble des Etats sociaux réalisables.

DEFINITION 5.2 : FONCTION DE CHOIX SOCIAL

Une fonction de choix social est une fonction $f : \Theta_1 \times \dots \times \Theta_N \rightarrow Z$ qui associe à chaque profil de caractéristiques des agents $(\theta_1, \dots, \theta_N)$, une allocation particulière $f(\theta_1, \dots, \theta_N) \in Z$ correspondant à un choix collectif pour la société.

Une fonction de choix social constitue une application qui sélectionne un Etat social particulier (une distribution d'utilité) parmi l'ensemble des Etats sociaux réalisables (l'ensemble des possibilités d'utilité).

Dans une problématique d'offre de bien public y les n agents doivent décider de l'exécution du projet et assumer le financement de ce dernier par des transferts monétaires $t_i \in \mathbb{R}$. Une allocation réalisable est un vecteur $z(y, t_1, \dots, t_n)$.

Le coût du projet est donné par la fonction : $c(y) \geq 0$

L'ensemble des allocations réalisables Z est défini comme suit :

$$Z = \left\{ (y; t_1, \dots, t_n) \mid 0 \leq y \leq \bar{y} ; t_i \geq 0 \text{ pour tout } i ; \sum_i t_i \leq c(y) \right\}.$$

La fonction de choix social est : $f(\theta) = (k(\theta), t_1(\theta), \dots, t_n(\theta))$.

L'étape suivante consiste pour le décideur à concrétiser cette fonction, i.e. à l'implémenter.

Lorsque le décideur possède l'information sur les caractéristiques des agents, il n'a "*aucun mal*" à prendre une décision conforme à ses objectifs, et la concrétisation de la fonction de choix social est "triviale" [Dasgupta *et al.* 1979, p.185]. En revanche, dans un

contexte d'informations disséminées, décentralisées, le décideur doit, dans une première étape, mettre en place une procédure de collecte de l'information afin de répondre à la question suivante : quel choix collectif répond au mieux aux exigences des agents. Cette procédure de collecte de l'information prend la forme d'un mécanisme associant les messages des agents et une règle de transfert. Formellement, un mécanisme constitue un jeu non coopératif à information incomplète.

Un mécanisme : un jeu non coopératif à information incomplète.

Un mécanisme est un jeu non coopératif dont les signaux envoyés au décideur sont les stratégies des agents. Ces derniers sont les joueurs et, étant donné leurs caractéristiques, ils doivent parvenir à un équilibre et pour se faire adoptent une stratégie de meilleure réponse.

L'objectif du planificateur est que l'équilibre du jeu corresponde à un état social appartenant à l'ensemble des états sociaux qu'il a préalablement défini. Un mécanisme concrétise une fonction de choix social si le jeu non coopératif possède un équilibre. On dit également que la fonction de choix social est concrétisable s'il existe un jeu non coopératif associé qui possède un équilibre. Ou encore, concrétiser une fonction de choix social revient à déterminer les équilibres stratégiques du jeu non coopératif à information incomplète associé au mécanisme retenu.

Formellement, un mécanisme $\Gamma = (S_1, \dots, S_n; g(\cdot))$ est caractérisé par le couple (S_i, g) . Il est constitué d'un espace de message $(S_1, \dots, S_n)$ qui correspondent aux stratégies des agents et d'une règle d'allocation $g : (S_1, \dots, S_n) \rightarrow X$.

Les agents connaissent la règle d'allocation et sont impliqués dans un jeu non coopératif dont l'issue dépend du signal qu'ils émettent et des signaux émis par les autres agents.

Le problème de l'incitation apparaît lorsque les caractéristiques des agents sont inconnues du décideur. Pour les connaître, ce dernier peut poser directement la question aux agents. Mais ces derniers ont intérêt à ne pas révéler leur véritable préférence de manière à réduire le coût qui va leur être alloué, c'est-à-dire à se comporter en passager clandestin. Par conséquent, la révélation des préférences sera en général le résultat d'un

calcul stratégique. En effet, les agents détiennent une information privée sur leur préférences et développent des stratégies de meilleures réponses à la règle proposée par le décideur.

Cette utilisation stratégique de l'information détenue de façon privative par les agents rend la concrétisation de la fonction de choix social plus difficile. Les agents peuvent très bien annoncer des caractéristiques $\hat{\theta}$, qui ne sont pas leurs véritables caractéristiques θ , sans que cela constitue un obstacle pour parvenir à un équilibre. Auquel cas, le décideur implémente une fonction de choix social avec ces "*fausses*" caractéristiques, $f(\hat{\theta})$.

1.2 - La concrétisation d'une fonction de choix social comme détermination de l'équilibre du jeu

Pour que le mécanisme apparaisse comme un moyen de concrétiser une fonction de choix social f , il faut que le jeu associé ce mécanisme possède un équilibre. Concrétiser une fonction de choix social revient à déterminer les équilibres stratégiques du jeu associé au mécanisme $\Gamma = (S_1, \dots, S_n; g(\cdot))$.

DEFINITION 5.3 : CONCRETISATION D'UNE FONCTION DE CHOIX SOCIAL

Le mécanisme $\Gamma = (S_1, \dots, S_n; g(\cdot))$ concrétise la fonction de choix social f , s'il existe un vecteur de stratégies d'équilibre $(s_1^*(\theta_1), \dots, s_n^*(\theta_n))$ qui soit tel que $g(s_1^*(\theta_1), \dots, s_n^*(\theta_n)) = f(\theta_1, \dots, \theta_n)$ pour tous les profils de caractéristiques $(\theta_1, \dots, \theta_n) \in (\Theta_1, \dots, \Theta_n)$.

Un mécanisme est qualifié de direct lorsque les signaux envoyés par les agents portent sur leurs propres caractéristiques. L'espace des messages correspond à l'espace des caractéristiques, et l'allocation finale est déterminée à partir de ces caractéristiques. Un mécanisme direct est donc un mécanisme en une seule étape.

DEFINITION 5.4 : MECANISME DIRECT

Un mécanisme direct est un mécanisme pour lequel $S_i = \Theta_i$ pour tous les agents, et $g(\theta) = f(\theta)$ pour tout $\theta \in \Theta_1, \dots, \Theta_n$. En d'autres termes un mécanisme direct est un mécanisme en une étape tel que l'espace des message coïncide avec l'espace des caractéristiques, et l'équilibre du jeu associé au mécanisme appartient à l'ensemble des Etats sociaux réalisables.

L'écriture formelle du mécanisme direct se transforme en $\Gamma = (\Theta_1, \dots, \Theta_n; f(\cdot))$ au lieu de $\Gamma = (S_1, \dots, S_n; g(\cdot))$ pour un mécanisme quelconque.

Dans un mécanisme direct, les fonctions-objectif sont connaissance commune. Au lieu de demander à chaque agent de calculer sa stratégie optimale s_i en fonction de sa caractéristique θ_i , on demande à l'agent d'annoncer sa caractéristique en l'informant que l'on utilisera ce message pour calculer sa stratégie optimale $s(\theta_i)$, tel qu'il l'aurait lui-même fait.

Le mécanisme est dit révélateur lorsque le message de l'agent i $S_i(\hat{\theta}_i)$ correspond à ses véritables caractéristiques $S_i(\theta_i)$. L'annonce de la véritable caractéristique constitue toujours une stratégie d'équilibre et l'allocation correspondante appartient au domaine de choix de la fonction objectif du principal.

Un mécanisme direct révélateur est un mécanisme pour lequel :

- (i) la véritable caractéristique annoncée constitue une stratégie d'équilibre pour chaque joueur et,
- (ii) l'allocation correspondante appartient au domaine des fonctions de choix social réalisables.

Le principe de révélation [Guibbard 1973] permet de limiter le champs d'investigation de la concrétisation à l'ensemble des mécanismes directs révélateurs. En effet, il établit les conditions sous lesquelles il y a correspondance entre un mécanisme quelconque et un mécanisme direct révélateur. Le principe de révélation peut s'énoncer comme suit :

si une allocation peut être mise en œuvre par un mécanisme quelconque, il est également possible de la mettre en œuvre par un mécanisme direct révélateur sous les conditions suivantes :

- les objectifs des agents sont connus et,
- il n'y a qu'un seul paramètre inconnu qui est le type de l'agent, c'est-à-dire le paramètre qui conditionne sa fonction d'utilité.

1.3- Concepts de solution et Robustesse des mécanismes

Le jeu associé à un mécanisme étant un jeu non coopératif les concepts d'équilibre appartiennent à la théorie des jeux non coopératifs. Trois concepts d'équilibre sont évoqués dans la littérature sur la concrétisation des fonctions de choix social : l'équilibre en stratégies dominantes (concrétisation en stratégies dominantes), l'équilibre Bayésien (concrétisation en équilibre Bayésien), ou l'équilibre de Nash⁶⁴, (concrétisation en équilibre de Nash). Toutefois le concept d'équilibre retenu détermine la force et la robustesse du mécanisme.

Les mécanismes directs sont incitatifs eu égard au concept d'équilibre retenu.

1.3.1 - Deux concepts de concrétisation faible : équilibre de Nash et équilibre Bayésien

La principale différence entre ces trois concepts de solutions réside dans la cadre informationnel adopté et dans lequel on se situe. Chaque concept de solution correspond à un environnement informationnel particulier.

1.3.1.1 - Concrétisation en équilibre de Nash

En théorie des jeux non coopératifs, l'équilibre de Nash est le concept de solution par excellence, mais il suppose à l'origine une information complète des agents. Entre autres auteurs, Maskin [1985] donne toutefois trois justifications à son emploi dans un contexte d'information incomplète.

⁶⁴ Il existe plusieurs autres concepts d'équilibre qui sont souvent des raffinements de l'équilibre de Nash. Moulin [1994] en cite quelques uns comme l'équilibre de Nash parfait [Bagnoli et Lipman 1989], l'équilibre de Nash non dominé [Jackson et Moulin 1991], équilibre en sous-jeu parfait [Varian 1990].

1. La première, est que l'équilibre de Nash peut être perçu comme un point stationnaire d'un processus d'ajustement itératif. Dans un tel processus, les joueurs ont des informations incomplètes, mais ils ajustent continuellement leur décision et leur action jusqu'au point d'équilibre où, aucun agent n'a intérêt à modifier son comportement. Toutefois, les différentes interprétations du comportement de Nash en information incomplète, qui vont de la description d'un comportement totalement "*naïf*" de l'agent à celui de comportement "*super sophistiqué*" [Dasgupta *et al.* 1979], fondent les restrictions à son utilisation dans la théorie de l'implémentation. L'idée qui consiste à dire qu'un individu pense que les autres joueurs se comportent naïvement, devrait pousser l'agent en question à adopter un comportement de leader de Stackelberg laissant les autres s'adapter à son jeu qu'il n'ajustera pas. Si un ou plusieurs agents adoptent le comportement de leader de Stackelberg, il n'y a alors aucune raison de parvenir à un point stationnaire qui est un équilibre de Nash.

2. La deuxième justification de l'utilisation de l'équilibre de Nash repose sur un cas particulier de la perception de l'agent décideur. Responsable de la conception du mécanisme, ce dernier est en fait un comité dont les différents membres sont les agents acteurs et donc les joueurs du jeu non coopératif. Le mécanisme conçu est une règle que les agents décident entre eux. Le décideur est virtuel, il n'a aucune réalité physique. Auquel cas, les agents ont une parfaite information sur les préférences des uns et des autres. Nous sommes bien dans une situation d'information complète justifiant l'utilisation du concept de Nash. Maskin [1985] illustre un autre cas particulier par un gouvernement, ayant une information incomplète sur les préférences des firmes, mais souhaitant modifier le comportement de celles-ci. Les firmes, entre lesquelles le jeu a lieu, sont des spécialistes en recherche et développement et ont une excellente information les unes sur les autres.

3. La troisième et dernière justification est la perception de l'implémentation en équilibre de Nash comme une théorie positive ayant pour objectif la caractérisation de l'ensemble des fonctions de choix social prédisant des résultats de situations d'équilibre existant déjà.

Quoi qu'il en soit, le recours à ce concept d'équilibre "*...apparaît paradoxal pour la détermination de mécanismes incitatifs puisqu'il équivaut à utiliser un concept*

d'information complète pour résoudre un problème posé précisément en l'absence d'information." [Mougeot 1989 p.333]. C'est une approche qui définit une concrétisation faible [Mas Colell p.875], dans la mesure où chaque agent considère les stratégies des autres comme des données et détermine sa stratégie optimale sous cette hypothèse. En d'autres termes, l'existence de l'équilibre est conditionnée par l'adoption de la même attitude par tous les agents. En outre, il s'agit d'un processus itératif de réponses successives convergeant vers un équilibre, qui reste incompatible avec un mécanisme direct en une seule étape. De plus, ce concept pose le problème de la stationnarité de l'équilibre, problème qui n'existe pas en stratégies dominantes ou en équilibre Bayésien [Dasgupta *et al.* 1979].

1.3.1.2 - Concrétisation en équilibre Bayésien

Le concept d'équilibre Bayésien, ou équilibre de Nash-Bayes est une extension, due à Harsanyi [1967], au domaine d'information incomplète, du concept de l'équilibre de Nash en information complète. En effet, alors que dans le cadre de l'équilibre de Nash, les caractéristiques de tous les agents sont connaissances communes entre les agents (mais non connues du décideur) ; en information incomplète, il est supposé que chaque agent connaît sa caractéristique θ_i , mais ignore celle des autres agents θ_{-i} . Chaque agent, y compris le décideur, possède une information incomplète au sens d'Harsanyi [Dasgupta *et al.* 1979]. Toutefois, l'agent i émet des croyances subjectives sur les caractéristiques des autres agents. Ces croyances suivent une distribution de probabilité $\Phi(\cdot)$ sur l'ensemble θ_{-i} . Cette distribution de probabilité est connaissance commune de tel sorte que, chaque agent détermine sa stratégie S_i^* qui maximise l'espérance de sa fonction d'utilité eu égard à sa propre caractéristique et compte tenu de ses croyances sur les caractéristiques des autres. Par conséquent, le mécanisme $\Gamma = (S_1, \dots, S_n, g(\cdot))$ qui associe à l'ensemble des caractéristiques possibles $(\Theta_1, \dots, \Theta_n)$, une densité de probabilité $\Phi(\cdot)$ et des fonctions d'utilité, définit un jeu Bayésien à information incomplète.

DEFINITION 5.5 : EQUILIBRE BAYESIEN OU NASH-BAYES :

Un ensemble de stratégie $S^* = (S_1^*, ..., S_n^*)$ est un équilibre Bayésien du mécanisme

$\Gamma = (S_1, ..., S_n, g)$ si et seulement si pour tout i , $\theta_i \in \Theta_i$,

$$E_{\theta_{-i}} \left[u_i \left(g \left(S_i^* (\theta_i), S_{-i}^* (\theta_{-i}) \right), \theta_i \right) | \theta_i \right] \geq E_{\theta_{-i}} \left[u_i \left(g \left(\hat{S}_i (\theta_i), S_{-i}^* (\theta_{-i}) \right), \theta_i \right) | \theta_i \right]$$

L'espérance d'utilité de la stratégie S_i^* d'un agent est supérieure à celle de tout autre stratégie $\hat{S}_i$, ses caractéristiques et ses croyances sur les caractéristiques des autres agents étant données.

Le mécanisme Γ concrétise une fonction de choix social $f(.)$ lorsque le jeu non coopératif Bayésien associé possède un équilibre Bayésien $S^*(.) = (S_1^*(.), ..., S_n^*(.))$ tel que $g(S^*(\theta)) = f(\theta)$ pour $\theta \in \Theta$

Un mécanisme est alors *Bayésien incitatif* ou *révélateur en stratégies d'équilibre Bayésien*, lorsque, pour chaque agent i , l'annonce de la vérité constitue une stratégie d'équilibre du jeu associé au mécanisme.

Ce concept est qualifié de moins fort que celui en stratégies dominantes [Mas Colell 1995] parce qu'il "...exprime seulement le fait qu'aucun joueur n'a intérêt en moyenne à être le seul à ne pas avoir une stratégie d'équilibre lorsque les autres adoptent une telle stratégie." [Mougeot 1989 p.329].

1.3.2 - Concrétisation en stratégies dominantes

Le vocabulaire pour décrire ces mécanismes a légèrement évolué. Les anciennes appellations de mécanismes "*straightforward*" [Gibbard 1973, Dasgupta *et al.* 1979], "*cheatproof*" [Dasgupta *et al.* 1979] ont laissés la place à celle de mécanisme Strategy-proof [Mas Colell 1995, Moulin 1988, 1994, 1996, Mougeot 1989, Barberà 1996] qui reste l'appellation la plus courante. En langue Française, la qualification de mécanismes "*motivants*" apparue dans le cahier des séminaires d'économétrie en 1977 [Green et Laffont 1977] a disparu pour laisser la place aux termes de "*mécanismes incitatifs ou révélateurs en stratégies dominantes*" [Benard 1985, Mougeot 1989, Pondaven 1994].

La robustesse et la force de l'équilibre en stratégies dominantes fait l'unanimité dans la littérature sur les mécanismes incitatifs [Mas Colell 1995, Mougeot 1989, Moulin 1988, 1994, 1996].

DEFINITION 5.6: EQUILIBRE EN STRATEGIES DOMINANTES

Soit $\Gamma = (S_1, \dots, S_n; g(\cdot))$ un mécanisme et $s_i \in S_i$ la stratégie de l'agent i dans le jeu associé au mécanisme Γ . s_i^* est une stratégie dominante si :

$$\forall s'_i \in S_i \quad \text{et} \quad \forall s_{-i} \in S_{-i} = \prod_{j \neq i} S_j$$

$$U_i[\Gamma(s_i^*, s_{-i}) | \theta_i] \geq U_i[\Gamma(s'_i, s_{-i}) | \theta_i]$$

et le profil de stratégies $s^* = s_1^*, \dots, s_n^*$ est un équilibre en stratégies dominantes.

L'allocation $(x_1, \dots, x_n)$ telle que $x_i = \Gamma(s_i^*)$, obtenue par le mécanisme Γ est un équilibre en stratégies dominantes.

Une stratégie est dominante lorsqu'elle est préférée par chaque agent quelles que soient les stratégies des autres. La stratégie d'un agent i est le résultat de la maximisation de sa fonction-objectif, compte tenu de la fonction de choix social, de ses propres caractéristiques et surtout, quelles que soient les caractéristiques et les préférences des autres agents:

$$\max_{s_i \in S_i} U_i(\Gamma(s_i, s_{-i}) | \theta_i).$$

Contrairement aux concepts de solutions évoqués précédemment et pour lesquels la stratégie de l'agent i correspond à une stratégie de meilleure réponse, étant donnée la meilleure réponse de l'adversaire, le joueur i d'une stratégie dominante n'a ni besoin d'anticiper la stratégie des autres agents, ni besoin de connaître leurs caractéristiques, et encore moins la distribution de probabilité sur ces caractéristiques, nécessaire pour la concrétisation en équilibre Bayésien. La stratégie de l'agent i , reste *efficace* en toute circonstance.

DEFINITION 5.7: CONCRETISATION EN STRATEGIES DOMINANTES

La fonction de choix social $f(\cdot)$ est concrétisable en stratégies dominantes si pour tout $\theta_i \in \Theta_i$ et pour tout $i=1, \dots, n$, $s_i^*(\theta_i) = \theta_i$ est un équilibre en stratégies dominantes du mécanisme direct $\Gamma = (\theta_1, \dots, \theta_n; f(\cdot))$. C'est-à-dire, pour tout i et tout $\theta_i \in \Theta_i$, pour tout $\hat{\theta}_i \in \Theta_i$ et pour tout $\hat{\theta}_{-i} \in \Theta_{-i}$:

$$u_i(f(\theta_i, \theta_{-i}), \theta_i) \geq u_i(f(\hat{\theta}_i, \hat{\theta}_{-i}), \theta_i) \quad (4.11)$$

Il existe donc un intérêt particulier à l'existence d'un mécanisme qui concrétise une fonction de choix social en stratégies dominantes. En effet, la force incitative de cette forme de concrétisation tient au fait qu'il n'existe aucune raison pour que les agents rationnels n'adoptent pas le comportement décrit par le concept ; la stratégie d'un agent étant indépendante de celles de ses adversaires et la notion d'équilibre en stratégies dominantes étant définie sans référence à l'information que les agents sont censés avoir sur les autres. A titre de comparaison avec les autres concepts d'équilibre, Mougeot [1989 p.328] écrit à ce propos :

"Les autres concepts d'équilibres sont moins forts en ce sens qu'ils reposent sur des hypothèses informationnelles particulières et qu'ils impliquent l'adoption d'un comportement que rien ne garantit dans un jeu en une étape."

Pour résumer la force de ce concept de concrétisation, on pourrait dire que :

la charge informationnelle nécessaire à la concrétisation d'une fonction de choix social en stratégies dominantes est nettement moins "lourde" que celle requise pour les autres concepts d'équilibre.

Les travaux sur la concrétisation en stratégies dominantes sont néanmoins grevés par le théorème d'impossibilité de Guibbard et Satterthwaite.

1.4 - Résultat d'impossibilité de Guibbard [1973] et Satterthwaite [1975]

"Vickrey [1960] makes a (...) conjecture on manipulability. He conjectures that immunity to manipulation is equivalent to the conjunction of two of the conditions (Independance of irrelevant alternatives and positive association, which Vickrey calls non-perversity) that figure in the Arrow impossibility theorem. ... The proof in this paper proceeds roughly by confirming Vickrey's conjecture."

Allan Guibbard [1973, p.588]

Le résultat majeur sur la concrétisation en stratégies dominantes est le théorème de Guibbard [1973] et Satterthwaite⁶⁵ [1975]. Il stipule que lorsque le domaine des préférences est universel, et que l'ensemble des Etats sociaux comprend plus de deux éléments, alors la seule fonction de choix social concrétisable en stratégies dominantes, autrement dit la seule fonction de choix social non manipulable, est dictatoriale.

A l'origine, l'énoncé du théorème est le suivant :

THÉOREME 5.1 [Guibbard 1973 p.595]

Every straightforward game form with at least three possible outcomes is dictatorial.

Corollary

Every voting scheme with at least three outcomes is either dictatorial or manipulable.

Guibbard [1973] insiste sur le fait que le schéma de vote n'est qu'un cas particulier de prise de décision collective dans une société, c'est-à-dire un cas particulier de fonction de choix social. Son résultat s'applique à l'ensemble des fonctions de choix social. La démonstration de Guibbard porte sur le mécanisme, indépendamment des issues, et sans précision sur les préférences des individus hormis qu'il s'agit de préférences ordinales. L'ensemble des préférences des agents est par conséquent considéré comme universel. Ce n'est pas le mécanisme en lui-même qui est manipulable, ce sont les agents qui, en ne révélant pas "*honnêtement*" leurs préférences, manipulent le mécanisme qui concrétise la fonction de choix social.

⁶⁵ Cité in Barberà [1996] et Moulin [1994]

Par la suite, le théorème de Guibbard [1973] (et Satterthwaite [1975]) se précise dans la littérature sur l'implémentation des fonctions de choix social en stratégies dominantes. Il devient :

*Theorem*⁶⁶

Let f be a social choice function on the universal set of preferences. If the range of f contains more than two alternatives, then f is either dictatorial or manipulable.

Dans un environnement économique très large, lorsque le choix doit porter sur au moins trois éléments, alors il n'existe pas de fonction de choix social non manipulable. En d'autres termes dans ces conditions il n'y a aucun espoir de trouver un mécanisme efficace au sens où la vérité est une stratégie dominante pour chaque agent pour concrétiser une fonction de choix social.

La question alors posée est la suivante : sous quelles conditions est-il possible de mettre en place une règle de décision collective qui soit incitative ?

Ce résultat d'impossibilité va par la suite orienter les recherches dans la littérature sur la concrétisation des fonctions de choix social. Deux voies ont été explorées pour tenter de dépasser le théorème d'impossibilité de Guibbard-Satterthwaite.

La première consiste à affaiblir le concept d'équilibre de l'implémentation en ayant recours à des concepts d'équilibre moins robustes tels que l'équilibre Bayésien [Dasgupta *et al.* 1979, Myerson 1979, d'Aspremont et Gerard-Varet 1979] ou l'équilibre de Nash [Dasgupta *et al.* 1979, Maskin 1985].

La seconde propose de préserver la concrétisation en stratégies dominantes eu égard à la force et à l'exigence du concept, mais au prix d'une restriction de l'environnement économique. La restriction porte sur la sélection d'une catégorie particulière de préférences, celles représentées par des fonctions d'utilités quasi-linéaires. Par conséquent, toute concrétisation en stratégies dominantes doit se faire en environnement quasi-linéaire.

Sous cette hypothèse il existe une seule famille de mécanisme révélateur qui est celle des mécanismes de Clarke-Vickrey-Groves.

⁶⁶ cité in Barberà [1996 p.29]

SECTION 2 : LES MECANISMES DE CLARKE-VICKREY-GROVES

Dans un système économique décentralisé, la souscription est certainement le moyen le plus naturel pour déterminer la production des biens publics et leur financement. Connaissant les contributions des autres agents, chaque individu détermine la sienne par la considération de l'accroissement de bien public qu'elle permet d'entreprendre et il ne prend pas en compte les gains d'utilité qui en résultent pour les autres agents. Il est intuitivement clair que cette solution ne correspond pas à une allocation efficace des ressources. Dans la plupart des cas, en particulier lorsqu'il existe un grand nombre d'agents, le résultat est même désastreux car l'impact de sa propre contribution sur la production du bien public est pour chaque agent négligeable. Il va dès lors compter sur les autres pour financer le bien public en prétendant que ce service ne l'intéresse pas. Cette inaptitude des mécanismes décentralisés à conduire à une allocation efficace a été appelée dans la littérature anglo-saxonne, "the free rider problem", que nous traduirons pour les besoins de cette note par le problème du passager clandestin.

Green et Laffont [1977]

Notre problématique est la suivante : nous voulons offrir un bien public à un ensemble d'individu, représenté par deux entités différentes que sont les agents-Etats. L'information est détenue de façon privative par ces derniers, consommateurs du bien public. Par conséquent, l'offre doit s'effectuer par le biais d'un mécanisme révélateur incitatif avec une contrainte de participation volontaire pour pallier l'absence d'autorité supranationale.

L'objectif est triple :

- déterminer le niveau de bien public nécessaire à la satisfaction des besoins des agents,
- allouer le coût du bien public entre les différents Etats, et
- inciter volontairement les agents à participer au financement du bien public.

Les premiers mécanismes incitatifs sont avancés indépendamment par Clarke [1971], Smets [1973] et Groves [1973] en reprenant le principe des enchères de Vickrey [1961]. Le principe sur lequel ces mécanismes s'appuient est celui d'une taxe de l'externalité des préférences que les agents pivots font peser la décision collective. Ces mécanismes, désormais appelés mécanismes de Clarke-Groves ou Clarke-Vickey-Groves

C-V-G satisfont un certain nombre de propriétés. Ils incitent à la révélation des préférences et sont par conséquent techniquement *efficaces* au sens où ils concrétisent le niveau optimal de bien public.

En revanche, ils possèdent principalement trois inconvénients :

- 1- Leurs domaines de validité est réduit aux préférences individuelles représentées par des fonctions d'utilité quasi-linéaires, excluant par là les effets revenus,
- 2- ils ne sont pas volontaires puisqu'ils ne satisfont pas à la contrainte de la rationalité individuelle et,
- 3- ils dégagent un surplus qui ne peut pas être redistribué. Ce déséquilibre budgétaire empêche ces mécanismes de parvenir à une solution optimale de premier rang.

Toute tentative de modification de ces mécanismes dans l'objectif de contrer ces trois inconvénients se heurte au résultat mis en avant par Green et Laffont [1977, 1979].

Il n'existe pas de mécanismes révélateurs et efficaces qui respectent l'équilibre budgétaire.

En outre, la nature exacte du dilemme entre les propriétés de strategy-proofness, d'efficacité et de rationalité individuelle reste encore imprécise. Saijo [1991] montre toutefois que dans un contexte de contribution à l'offre d'un bien public, la propriété incitative des mécanismes révélateurs est incompatible avec le niveau d'utilité du Stand Alone.

Dans cette section nous illustrons le mécanisme du pivot (2.2) à partir d'un exemple simple de décision publique sans coût. L'objet de cette illustration est, d'une part de mettre en exergue sa propriété révélatrice en le comparant à un mécanisme de partage égalitaire, et d'autre part, de montrer les limites de ces mécanismes, à savoir l'impossibilité de satisfaire l'équilibre budgétaire et la rationalité individuelle (2.3).

La caractérisation de la famille des mécanismes C-V-G par Green et Laffont [1977] est présentée en 2.1. Elle permet d'identifier la classe des mécanismes incitatifs en stratégies dominantes.

2.1 - Identification de la classe des mécanismes incitatifs en stratégies dominantes

Eu égard à la robustesse de la concrétisation des fonctions de choix social en stratégies dominantes nous avons choisi de nous intéresser à cette approche et à son application au problème des biens publics. Par abus de langage, à moins de la préciser, nous n'emploierons désormais plus que les termes de mécanismes révélateurs ou incitatifs pour désigner la concrétisation en stratégies dominantes.

Les mécanismes Clarke-Vickrey-Groves sont des mécanismes révélateurs qui combinent une règle de décision collective et une règle de transfert. Ils offrent une solution au problème du passager clandestin dans le cas d'offre de bien public pur. Ces mécanismes, également appelés "mécanismes du pivot", sont une extension de l'enchère de Vickrey [1961], au problème des biens publics. Ils consistent à lier le paiement de chacun au coût que sa décision fait supporter à la collectivité. Ils sont fondés sur le concept de stratégies dominantes, et par conséquent, l'intérêt personnel d'un individu, n'entre pas en conflit avec les exigences de la règle d'allocation (en l'occurrence avec la règle d'allocation des coûts). Ils ont toutefois deux inconvénients : d'une part, ils ne sont pas volontaires, au sens où ils ne respectent pas la contrainte de rationalité individuelle, et d'autre part, ils génèrent un surplus budgétaire synonyme de perte de bien-être et donc un coût pour la collectivité, qui est interprété comme un coût d'obtention de la vérité [Mougeot p.439 Moulin et Shenker 1994, 1996].

2.1.1 - Environnement quasi-linéaire

Un environnement quasi-linéaire est caractérisé par la représentation des préférences des agents par des fonctions d'utilité quasi-linéaires, additivement séparables et linéaires sur le bien numéraire. Celles-ci prennent la forme suivante :

$$u_i = v_i(k, \theta_i) + t_i, \text{ avec :}$$

$t_i \in \mathbb{R}$, le bien numéraire, le plus souvent il s'agit de monnaie permettant des transferts,

$v_i(k, \theta_i)$, le bénéfice tiré du projet k que choisit l'agent i , de caractéristique θ_i .

Dans les modèles d'offre de bien public, la fonction $v_i(k, \theta_i)$ mesure la disposition à payer le bien public, supposé indépendante des ressources de l'agent i . Elle correspond à l'évaluation monétaire du projet k , les préférences q de l'agent étant données. C'est l'information dont dispose chaque agent et que le décideur cherche à obtenir.

La fonction d'utilité est dite quasi-linéaire en t_i , et par conséquent, la demande est indépendante du revenu, l'utilité marginale du transfert restant constante lorsque la consommation du bien t augmente.

Outre les caractéristiques techniques des fonctions d'utilités quasi-linéaires qui permettent la concrétisation en stratégies dominantes, l'introduction du bien numéraire monnaie permet de passer d'un jeu à utilité non transférable à un jeu à utilité transférable. L'avantage de ces derniers réside dans la possibilité des comparaisons interpersonnelles d'utilité permises par le passage de la représentation ordinale des utilités à une représentation cardinale.

2.1.2 - Classe de fonctions de choix social concrétisables en stratégies dominantes

Les fonctions de choix social en environnement quasi-linéaire concrétisables en stratégies dominantes ont la forme suivante : elles se composent d'une règle de décision k et d'une règle de transfert t_i .

$$f(\theta) = (k(\theta), t_1(\theta), \dots, t_n(\theta))$$

pour tout $\theta \in \Theta$; $k(\theta) \in K$, et $\sum_i t_i(\theta_i) \leq 0$.

DEFINITION 5.7: FONCTION DE CHOIX SOCIAL EFFICACE EX-POST

Une fonction de choix social $f(\theta) = (k^*(\theta), t_1(\theta), \dots, t_n(\theta))$ est efficace ex-post, si pour tout profil de caractéristique $\theta \in \Theta$, elle satisfait la condition suivante :

$$\sum_i v_i(k^*(\theta), \theta_i) \geq \sum_i v_i(k, \theta_i). \quad (4.12)$$

La valeur agrégée des bénéfices retirés du projet k^* (dans le modèle présenté au précédent paragraphe, il s'agit du projet a) réalisé est supérieure ou égale à la valeur agrégée des utilités de tout autre projet (projet b).

C'est à Green et Laffont [1977] que l'on doit la caractérisation de la gamme des fonctions de choix social $f(q)$ concrétisables en stratégies dominantes.

La fonction de choix social $f(\theta) = (k^*(\theta), t_1(\theta), \dots, t_n(\theta))$ est concrétisable en stratégies dominantes si pour tout agent i , la valeur du transfert est :

$$t_i(\theta) = \left[\sum_{j \neq i} v_j(k^*(\theta), \theta_j) \right] + h_i(\theta_{-i}). \quad (4.13)$$

$h_i(\theta_{-i})$ est une fonction arbitraire qui dépend des caractéristiques des autres agents θ_{-i} . Le transfert de i est donc fonction des préférences affichées par les autres agents. $h_i(\theta_{-i})$ met par conséquent le transfert de i en incertitude dans la mesure où ce transfert est lié aux préférences des autres.

La fonction de choix $f(\theta)$ correspond au mécanisme de Groves.

DEFINITION 5.8: MECANISME DE GROVES

Un mécanisme de révélation direct $\Gamma = (f(\Theta), \Theta_1, \dots, \Theta_n)$ pour lequel $f(\theta) = (k^*(\theta), t_1(\theta), \dots, t_n(\theta))$ et satisfaisant les conditions (1.2) et (1.3) est un mécanisme de Groves.

Green et Laffont [1977, 1979] établissent les résultats suivants:

Théorèmes 5.2

Un mécanisme de Groves est incitatif⁶⁷.

Un mécanisme direct révélateur incitatif est un mécanisme de Groves.

Un mécanisme efficace⁶⁸ et incitatif est un mécanisme de Groves.

La comparaison des mécanismes de Groves avec celui de Clarke fournit un éclairage sur l'interprétation économique de la fonction $h_i(\theta_{-i})$. En effet, c'est précisément la forme fonctionnelle que prend la relation $h_i(\theta_{-i})$ qui stigmatise la différence entre les deux mécanismes. Par simplicité de notation nous supposons que le coût du bien public est nul. Soient les fonctions de transfert pour chaque mécanisme :

le transfert dans le mécanisme de Groves,

$$t_i(\theta) = \left[\sum_{j \neq i} v_j(k^*(\theta), \theta_j) \right] + h_i(\theta_{-i}) \quad (4.14)$$

⁶⁷ "motivant" selon la terminologie des auteurs.

⁶⁸ "satisfaisant" selon la terminologie des auteurs.

transfert dans le mécanisme de Clarke,

$$t_i(\theta) = \left[\sum_{j \neq i} v_j(k^*(\theta), \theta_j) \right] - \left[\sum_{j \neq i} v_j(k_{-i}^*(\theta_{-i}), \theta_j) \right] \quad (4.15)$$

$k_{-i}^*(\theta_{-i})$ correspond au projet efficace ex-post si, dans une situation hypothétique, il n'y avait eu que les (n-1) agents $j \neq i$.

$k^*(\theta)$ correspond au projet efficace ex-post de la situation factuelle pour l'ensemble de n agents i, $i=1, \dots, n$.

Deux cas de figure se présentent :

- $k^*(\theta) = k_{-i}^*(\theta_{-i})$: la décision de l'agent i ne modifie pas la décision collective efficace et par conséquent, l'agent i n'est pas un agent pivot. Son transfert t_i est donc nul, puisque $\sum_{j \neq i} v_j(k^*(\theta), \theta_j) = \sum_{j \neq i} v_j(k_{-i}^*(\theta_{-i}), \theta_j)$.
- $k^*(\theta) \neq k_{-i}^*(\theta_{-i})$: la décision de l'agent i est déterminante puisqu'elle fait basculer la décision collective. Il est pivot pour le choix du projet efficace. Il se voit donc imposer un transfert négatif qui correspond à la valeur de la différence des bénéfices entre les deux projets $k^*(\theta)$ et $k_{-i}^*(\theta_{-i})$. En d'autres termes, le montant du transfert de l'agent i reflète exactement l'externalité que sa décision impose aux autres agents. La taxe que l'agent pivot paie ne dépend de son type qu'à travers le résultat de son annonce sur le choix du projet $k^*(\theta)$.

Le mécanisme lie la décision collective à l'ensemble des messages reçus, et le transfert de chacun aux messages des autres et en fonction de l'impact de son annonce sur le choix collectif.

Le mécanisme du pivot est donc bien un cas particulier de la gamme des mécanismes de Groves, avec :

$$h_i(\theta_{-i}) = - \sum_{j \neq i} v_j(k_{-i}^*(\theta_{-i}), \theta_j).$$

Dans le paragraphe qui suit, nous appliquons le mécanisme du pivot à une problématique d'allocation de coût. Ceci nous permettra de montrer que les mécanismes de

C-V-G correspondent à un partage égalitaire du coût de production du bien public $\frac{c(y)}{n}$, et

que l'agent pivot paie, outre sa part égalitaire du coût du projet, une surtaxe qui ne peut être redistribuée. Cette surtaxe grève l'équilibre budgétaire et empêche d'atteindre une solution parétienne de premier rang.

2.2 - Le mécanisme du pivot pour la production d'un bien public

Un mécanisme du pivot combine une règle de décision collective $k(\theta)$ fonction de la caractéristique q de chaque agent, et une règle de transfert qui peut être interprétée comme un système de "*bonus-malus*" décourageant la manipulation du mécanisme. [Pondaven p.91].

Supposons qu'un projet public (un bien public sans exclusion) doive être mis en place. La décision collective porte sur deux projets concurrents a et b . Elle doit être prise par quatre villes qui jouent le rôle des agents. Les choix a et b portent sur deux lieux géographiques, projet a et projet b . Les agents sont informés qu'un transfert sera effectué selon la décision finale adoptée. Les préférences des agents sont des préférences quasi-linéaires. Les utilités retirées par chaque agent de l'implantation géographique sont reconstituées dans le tableau suivant.

Tableau 5.1 : Bénéfice retiré du projet par les agents 1, 2 et 3

	Agent 1	Agent 2	Agent 3	Agent 4	$\sum_i u_i$
Projet a	+15	+10	-11	-2	$\sum_i u_i = +12$
Projet b	- 15	-10	+11	+2	$\sum_i u_i = -12$
Différentiel d'utilité	+30	+20	+22	+4	

Les agents 1 et 2 sont favorables au projet a et les agents 3 et 4 au projet b . Ce qui importe pour chacun des agents, c'est le différentiel d'utilité entre les deux projets : l'agent 1 serait prêt à payer 30 pour faire passer le projet a au lieu du projet b . L'agent 3 serait lui prêt à payer 22 pour faire passer le projet b au lieu de a . On notera $v_i(a)$ et $v_i(b)$ le bénéfice retiré par l'agent i respectivement du projet a et du projet b , et t_i le transfert effectué au profit ou au détriment de l'agent i .

La règle de décision collective est la suivante : le projet sélectionné est le projet efficace qui maximise la somme des utilités des agents $\sum_{i=1}^4 u_i$. En l'occurrence il s'agit du projet a .

Nous envisageons deux mécanismes : le mécanisme égalitariste ayant pour finalité l'allocation égalitaire des utilités des agents, et le mécanisme du pivot. La règle de décision est identique pour les deux mécanismes. La seule différence entre ces derniers réside dans la règle de transfert.

Un mécanisme manipulable : le mécanisme égalitariste

Le surplus collectif du projet efficace, $\sum_i u_i = 12$ est réparti uniformément entre les agents. Les transferts doivent être tels que tous les agents parviennent au même niveau d'utilité après l'exécution du projet, c'est-à-dire à un niveau d'utilité égale à 3. Si les agents rapportent "honnêtement" leur disposition à payer, alors le transfert s'effectue de la façon suivante : $t_1 = -12$, $t_2 = -7$, $t_3 = +14$, $t_4 = +5$.

Toutefois, ce mécanisme n'est pas révélateur. En effet, les agents 1 et 2 auront tendance à minimiser l'annonce de leur préférence pour le projet a afin de réduire leur transfert négatif, tout en faisant en sorte que le projet sélectionné reste le projet a .

Dans le cas où les agents 2, 3 et 4 rapportent véritablement leur préférence, leur utilité collective pour le projet a est de $\sum_i u_{i/a} = 3$ et pour le projet b $\sum_i u_{i/b} = -3$. L'agent 1 peut être incité à réduire son utilité rapportée $\hat{v}_1(a) = 3 + \varepsilon$ et $\hat{v}_1(b) = -3 - \varepsilon$, maintenant ainsi la décision du projet a plus efficace. Cette opération lui ferait économiser un transfert négatif de 9. Ce mécanisme de partage égalitaire, dans une situation non coopérative, est par conséquent manipulable.

Mécanisme du pivot :

On qualifie de perdants les agents qui ne voient pas leur projet favori retenu. La règle de transfert a la particularité de ne pas compenser les agents par des transferts positifs. L'agent "*pivot*" tire son nom du rôle déterminant qu'il joue dans la sélection du projet efficace. Sans sa présence, son projet ne serait pas retenu, les préférences de l'agent pivot modifient donc la décision collective.

Dans notre illustration, c'est l'agent 1 qui joue le rôle du pivot puisque sans sa participation, le projet b aurait été choisi au lieu du projet a. En effet, la somme des utilités des agents 2, 3 et 4 est : $\sum_{j \neq 1} v_j(a) = -3$ et $\sum_{j \neq 1} v_j(b) = +3$. Le mécanisme du pivot impose que l'agent 1 soit taxé d'un montant qui correspond à la perte d'utilité que les N-1 autres agents subissent. Lorsque sa décision fait basculer le choix du projet de b vers a, la taxe imputée à l'agent 1 est donc de :

$$x_1 = (-10 + 11 + 2) - (10 - 11 - 2) = 6.$$

Les agents non pivots ne sont pas taxés et par conséquent $x_2 = x_3 = x_4 = 0$.

Pourquoi le mécanisme du pivot est-il révélateur ?

La propriété incitative du mécanisme du pivot tient à ses deux caractéristiques fondamentales :

1. la taxe imputée à un agent est indépendante de sa propre annonce,
pour l'agent pivot, toute annonce qui ne modifie pas la décision de sélectionner le projet efficace, n'a aucune influence sur la taxe. En effet, il peut annoncer $\hat{v}_1(a) = 3 + \varepsilon$ ou alors $\hat{v}_1(b) = -3 - \varepsilon$, la charge qu'il devra payer sera toujours identique, à savoir $x_1 = (-10 + 11 + 2) - (10 - 11 - 2) = 6$.
2. l'agent taxé est celui qui a le plus à perdre à une décision collective alternative,
si l'agent 1 fait une fausse annonce qui fait basculer la décision vers le projet b, il subit alors une perte d'utilité de 30, supérieure à la charge qui lui est imposée.

Quant aux agents non-pivots, toute fausse annonce peut les conduire à devenir pivot et par-là même à être taxés, à un niveau systématiquement supérieur au gain d'utilité qu'ils en retireraient. En effet, supposons que l'agent 3 modifie ses annonces dans le but de favoriser le projet b : $v_3(a) = -25$ et $v_3(b) = +25$. On aboutit alors aux résultats suivants :

$\sum_i v_i(a) = -2$ et $\sum_i u_i(b) = +2$. Le projet b devient le projet efficace et l'agent 3 prend le rôle du pivot. La taxe qui lui est imposée s'élève à :

$$x_3 = \sum_{i=1,2,4} u_i(a) - \sum_{i=1,2,4} u_i(b) = +23 - (-23) = 46.$$

Ce montant est supérieur au bénéfice retiré de l'exécution du projet b qui est de 22.

Le mécanisme du pivot consiste donc à faire payer aux agents qui font basculer la décision collective, le coût de leur externalité de préférence.

Le mécanisme du pivot peut être adapté à tout problème de décision publique auquel est attaché un coût de production.

2.3 - Les propriétés du mécanisme du Pivot :

2.3.1 - Budget déséquilibré et mécanisme non parétien

L'utilité de chaque agent est quasi-linéaire, $u_i = v_i(k, \theta_i) + t_i$, $v_i(k, \theta_i)$ représente la valeur ou le bénéfice du projet k pour l'individu i et t_i le bien numéraire.

Le bien public est indivisible, la fonction de coût de ce dernier à la forme suivante $c(y)$, et nous supposons que la décision collective est binaire :

$k = 0$ correspond à la décision du statu quo, et donc du refus que le projet soit exécuté, $k = 1$ correspond à la décision de l'exécution du projet.

Le bien public n'est produit que si la somme des bénéfices est supérieure au coût du projet, et auquel cas, le coût du projet est alloué uniformément entre les agents $\frac{c(y)}{n}$, et une surtaxe est affecté aux agents pivots. On note $\frac{c(y)}{n}(n-1)$ la somme des allocations de coût aux $(n-i)$ agents $j \neq i$ non-pivots.

Pour présenter la règle de transfert, il est nécessaire d'envisager les deux situations possibles qui correspondent au cas où le bien public est produit ($k=1$) et au cas où le bien public n'est pas produit ($k=0$). Dans chacun de ces cas, l'agent peut être pivot ou non. Au total, quatre cas de figure peuvent se présenter.

1 - Le bien public n'est pas produit lorsque $\sum_i v_i(k, \theta_i) \leq c(y)$.

- (i) L'agent i n'est pas pivot, $\sum_{j \neq i} v_j(k, \theta_j) \leq \frac{c(y)}{n}(n-1)$, il n'est pour rien dans la décision collective de ne pas produire le bien public, il n'est pas imposé et $t_i = 0$.

- (ii) L'agent i est pivot, et auquel cas il paye un prix $t_i = \sum_{j \neq i} v_j(k, \theta_j) - \frac{c(y)}{n}(n-1)$.

La valeur de ce transfert correspond au poids de la perte d'utilité que l'agent pivot impose aux agents $j \neq i$. Ce prix est donc égal au coût de l'externalité que l'agent i impose aux autres agents.

2 - Le bien public est produit lorsque $\sum_i v_i(k, \theta_i) > c(y)$ le bien public est produit.

- (iii) L'agent i n'est pas pivot, $\sum_{j \neq i} v_j(k, \theta_j) \geq \frac{c(y)}{n}(n-1)$ et donc il n'est pour rien dans la décision collective de produire le bien public, il est imposé à hauteur de $\frac{c(y)}{n}$, un coût correspondant à une allocation égalitaire du coût total de production du bien public.

- (iv) L'agent i est pivot, et auquel cas il paye une charge égale à :

$$t_i = \frac{c(y)}{n} + \left[\frac{c(y)}{n}(n-1) - \sum_{j \neq i} v_j(k, \theta_j) \right] \quad (1.2)$$

Dans ce dernier cas, on notera que le transfert se décompose en deux parties. La première est une allocation du coût de production du bien public en part égale entre les n agents bénéficiaires, $\frac{c(y)}{n}$. Cette allocation forfaitaire suffit à couvrir le coût de production du bien public.

Le second terme du transfert correspond à l'internalisation de l'impact de la décision du pivot sur le bien-être des autres membres de la société. Cette pénalité, interprétée comme le prix à payer la propriété incitative du mécanisme, déséquilibre le budget, et par conséquent, $\sum_i t_i \leq 0$.

Hormis les cas très particuliers où, il n'existe pas d'agent pivot (i) et (iii), le mécanisme conduit à un déséquilibre budgétaire (ii) et (iv). On remarquera que le mécanisme C-G-V ne propose pas une allocation de coût originale. Cette allocation pourrait s'interpréter de la façon suivante. Le coût de production du bien public est alloué en une part fixe affectée à tous les agents, augmentée d'une taxe additionnelle (surtaxe) aux

agents pivots. C'est cette surtaxe qui ne peut être redistribuée, sauf à prendre le risque d'une manipulation du mécanisme, qui engendre le surcoût inhérent à tous les mécanismes de Groves. Le montant total de ces surtaxes imposées aux agents pivots correspond à une perte sèche que le mécanisme impose à l'ensemble des agents. Ce surplus budgétaire constitue une mesure du déficit du mécanisme par rapport à la solution parétienne de premier rang. En d'autres termes, la performance d'un mécanisme se mesure à l'aune de la perte sociale qu'il engendre. Cet inconvénient se généralise à l'ensemble des mécanismes de C-V-G⁶⁹.

THEOREME 5.3 [Green et Laffont 1977]

Il n'existe pas de mécanisme de Groves tel que $\sum_i t_i(\theta) = 0$, c'est-à-dire qui équilibre le budget⁷⁰.

Cette impossibilité d'équilibrer le budget rend les mécanismes de Groves incompatibles avec l'OP.

Les propriétés OP et IC sont incompatibles.

De façon plus générale, dans un environnement générale, il n'existe pas de mécanismes qui soient IC et OP à la fois [Hurwicz et Walker 1990].

2.3.2 - Robustesse aux manipulations des coalitions -ICG

Une autre propriété importante eu égard à la décentralisation des fonctions de choix social est également évoquée dans la littérature sur la concrétisation. Il s'agit de la robustesse du mécanisme face aux coalitions des agents, "*coalition strategy-proof*" pour Moulin [1994], et Moulin et Shenker [1996], "*strongly coalition incentive compatible*" pour les différencier des mécanismes "*strongly individually incentive compatible*" [Green

⁶⁹ Il est toutefois possible de trouver une "configuration miraculeuse" [Moulin 1988] combinant une classe particulière de fonctions d'utilité et une fonction de coût bien choisie, qui débouche sur un mécanisme efficace, incitatif et avec un budget équilibré. Groves et Ledyard [1977] propose un tel exemple.

⁷⁰ Pour ne pas remettre en cause l'intérêt des mécanismes de Groves, les auteurs du théorème estiment qu'il est crucial de montrer que ce problème peut être résolu de façon satisfaisante. Ainsi, ces derniers montrent que, lorsque les dispositions à payer des agents suivent une distribution de probabilité, la somme espérée des transferts peut être rendue négligeable. En outre, cette somme négligeable peut être redistribuée et auquel cas la stratégie des agents tend vers la vérité lorsque le nombre d'agent tend vers l'infini.

et Laffont 1979]. Dasgupta et al [1979] définissent plutôt des fonctions de choix social "*implementable in coalitionally dominant strategies*".

Il s'agit d'une propriété plus exigeante que celle évoquée ci-dessus, puisqu'elle permet en effet, la totale décentralisation des décisions⁷¹, quelque que soit l'environnement informationnel et le comportement des agents, la concrétisation directe de la fonction de choix social est plus forte et plus robuste. Cette propriété assure la résistance du mécanisme du mécanisme face aux manipulations des coalitions de groupe, y compris une manipulation de la part de la grande coalition. Quels que soient les comportements des agents, qu'ils réagissent de façon individuelle ou même coopérative, le résultat d'équilibre n'est jamais affecté.

Il faut cependant noter, que dans certains cas, comme c'est le cas dans le problème du vote, les propriétés *strategy-proof* et *coalition strategy-proof* se confondent. Barbera et Jackson [1990] montrent qu'avec des préférences convexes et un ensemble convexe de vecteurs de biens publics, un mécanisme incitatif est unidimensionnel, et qu'il doit être ICG.

Le principal résultat qui nous intéresse quant aux mécanismes de C-V-G, c'est le théorème de Green et Laffont [1979].

THEOREME 5.4

*Pour $n > 1$, il n'existe pas de mécanisme de révélation efficace qui soit incitatif individuellement (*strategy-proof*) et résistant aux coalitions, (*coalition strategy-proof*).*

Il y a donc une incompatibilité entre les propriétés EF, IC et ICG.

On notera que lorsque les formations de coalitions sont impossibles, la propriété de robustesse aux manipulations de coalition devient inutile.

⁷¹ "*fully decentralized behaviour*", [Moulin 1994 p.307]

2.3.3 - *Rationalité individuelle et participation volontaire*

Jusque là, nous supposons implicitement que les agents n'avaient d'autres choix que de participer au mécanisme conçu par le décideur. C'est-à-dire que la liberté de chaque agent se restreignait à la détermination de sa stratégie optimale parmi un ensemble de stratégies.

Cependant, dans plusieurs cas de figure, comme ce l'est notamment dans notre contexte, il n'existe pas d'autorité pour imposer de façon coercitive la participation au mécanisme. Dans ces conditions, outre la contrainte de révélation des préférences, une contrainte supplémentaire doit être imposée au mécanisme, celle d'"inviter" à la participation volontaire.

Cette participation volontaire peut être *faible*, le mécanisme satisfait alors à la contrainte de rationalité individuelle, ou alors, la participation volontaire peut être *forte* et dans ce cas, le mécanisme doit satisfaire à la contrainte de rationalité individuelle en autarcie.

Plus explicitement, supposons qu'un groupe d'agents possède en commun une ressource, ou alors, qu'ils participent à la production d'un bien public. L'axiome RI stipule que le niveau d'utilité atteint par l'agent ne peut être inférieur à son niveau d'utilité initiale avant l'exploitation de la ressource, ou avant la production du bien. Si cette propriété n'est pas respectée, un agent qui subit une perte nette peut être considéré comme contraint de se soumettre à la volonté générale.

Nous montrons dans un premier temps que les mécanismes de C-V-G ne satisfont pas cette propriété, ou alors de façon tout à fait fortuite. Nous développons ensuite les deux acceptions de la rationalité individuelle proposées par la littérature.

2.3.3.1 - La RI et le mécanismes du Pivot

Lors de notre précédente illustration du mécanisme du Pivot, nous avons montré que les transferts organisés au détriment des agents pivots peuvent être très importants. Certains agents peuvent se retrouver *in fine* avec un niveau d'utilité inférieur au niveau d'utilité de départ. Le cas de figure (ii) est très significatif à ce sujet. Le bien public n'est pas produit et par conséquent $c(y) = 0$, mais l'agent pivot reste imposé. Cette imposition, supposée coercitive, en plus du fait qu'elle déséquilibre, va à l'encontre de la rationalité individuelle de l'agent. En effet, supposons que le niveau d'utilité de l'agent i pivot soit

normalisé à zéro pour la situation de référence $u_i = v_i(k, \theta_i) + t_i$. Ce dernier est supposé avoir pris sa décision conformément à sa rationalité individuelle et, auquel cas, sa contrainte de rationalité individuelle s'écrit: $u_i = v_i(k, \theta_i) + t_i \geq 0$. Supposons également pour simplifier, que l'utilité du projet pour cet agent pivot soit nulle, $v_i(k, \theta_i) = 0$. Les transferts organisés comme pénalité à cette catégorie d'agents pivots, vont grever leur niveau d'utilité qui devient négatif. Si ces derniers avaient la possibilité de se retirer du groupe des agents participant au mécanisme, tout en acceptant de ne pas bénéficier de l'exécution du projet, d'être exclus du bien public, ils se retrouveraient avec une utilité ex-post nulle, mais non négative.

De façon identique, lorsque le projet efficace abouti, la surtaxe imposée aux agents pivots peut grever leur utilité ex-post, ou tout simplement le coût $\frac{c(y)}{n}$ imposé à l'ensemble des agents, peut, pour certains être supérieur à l'utilité de la consommation du bien public. Par conséquent, tout individu qui aurait une utilité pour le bien public, nettement inférieure à celle des autres, pourrait se voir imposer une taxe importante. Il n'y a en outre pas de borne supérieure au montant de cette taxe. Ce non-respect de la rationalité individuelle constitue un sérieux handicap des mécanismes de C-V-G et interpelle quant à la question du prix à payer un mécanisme de révélation des préférences. A ce propos, Moulin [1988] écrit : "*Does the incentive to report preferences truthfully justify giving the social planner the right to unlimited coercitive taxes*".

Le respect de la propriété de RI assure la décentralisation de la fonction de choix social en l'absence d'autorité coercitive. Dans notre cadre d'analyse, elle est un gage de succès de la solution que nous proposons.

2.3.3.2 - RI et RIA

On retrouve dans la littérature deux acceptions de la RI. La RI *faible* interprétée comme une participation volontaire faible, velléitaire, et la RIA, faisant référence au concept du Stand Alone et qui interprétée comme une participation volontaire forte.

Le niveau de la *rationalité individuelle* au sens strict, correspond au niveau d'utilité du statu quo, i.e. *ex-ante* avant la production du bien public. Deb *et al.* [1999] qui caractérisent les règles d'allocation de coût satisfaisant les propriétés d'incitation et de

participation volontaire, qualifient cette version de faiblement volontaire. Il en est de même pour Saijo [1991] qui étudie la compatibilité des mécanismes incitatifs avec cette contrainte. Cette dernière correspond à un niveau d'utilité de référence pour lequel un agent préférerait une situation *ex-ante* de non-consommation, à celle *ex-post* de la production et de la consommation du bien public. S'il existait une possibilité d'exclusion d'usage de la consommation du bien, l'agent choisirait cette solution plutôt qu'une allocation de coût qui serait supérieure au bénéfice retiré de la consommation du bien.

Formellement, supposons une économie composée de n agents et deux types de biens :

x , est le vecteur de biens privés de dimension k ,

y , est le vecteur de bien public de dimension l .

Les préférences de l'agent i sont représentées par une fonction d'utilité $u_i(x_i, y)$, et on note $w_i(w_{x_i}, w_y)$, le vecteur des dotations initiales de l'agent i , avec w_{x_i} sa dotation initiale en biens privés, et w_y la dotation initiale en bien public de l'économie.

Chaque agent a le choix, soit de consommer totalement sa dotation en bien privé, doit d'en affecter une partie à la production d'un bien public.

On notera :

$y = f_i(x)$, la fonction de production de bien public de l'agent i ,

Une allocation est réalisable $((x_i), y)$, si et seulement si, il existe $((x^j), (y^j))$ tel que :

$$\sum_i x_i + \sum_j x^j \leq \sum_i w_{x_i}, \quad y^j = f_j(x^j), \quad \text{et} \quad y = \sum_j y^j + w_y.$$

x^j la part de bien privé consacré par j à la production de bien public.

DEFINITION 5.9 : RATIONALITE INDIVIDUELLE - RI

Une allocation $((x_i^*), y^*)$ est dite RI, si et seulement si : pour tout i ,

$$u_i(x_i^*, w_y + y^*) \geq u_i(w_{x_i}, w_y).$$

C'est-à-dire que le niveau d'utilité de l'allocation, est, pour l'agent i supérieur au niveau d'utilité que lui procure sa dotation initiale en bien privé et en bien public.

Supposons à présent que l'agent i fonctionne en autarcie, tel un Robinson Crusoe, produisant lui-même le bien public. Il pourrait par exemple s'installer un réverbère devant sa maison sans avoir recours aux ressources des autres agents. Il maximiserait son utilité sous contrainte de ses dotations initiales et des conditions technologiques. Le niveau d'utilité ainsi obtenu correspond au niveau d'utilité de la RIA.

DEFINITION 5.10 : RATIONALITE INDIVIDUELLE EN AUTARCIE - RIA

Un panier de consommation (x_i^*, y^*) est RIA - "*Autarkically Individual Rationality*" si et seulement si pour tout agent i :

$$u_i(x_i^*, w_y + y^*) \geq u_i(\bar{x}_i^*, w_y + \bar{y}^*),$$

$u_i(\bar{x}_i^*, w_y + \bar{y}^*)$ est le résultat du programme de l'agent i qui maximise son utilité sous les contraintes suivantes : $y^i = f_i(x^i)$ et $x_i + x^i \leq w_{x_i}$.

Une allocation $((x_i^*), y^*)$ est RIA, si et seulement si, le panier de consommation (x_i^*, y^*) est RIA.

En d'autres termes, le niveau d'utilité $u_i(x_i^*, w_y + y^*)$ que procure à l'agent i le panier de consommation (x_i^*, y^*) est supérieur au niveau d'utilité qu'il aurait eu, s'il avait la possibilité de produire seul, en autarcie, le bien public. Auquel cas, $x_i + x^i \leq w_{x_i}$, la dotation en bien x de l'agent i est partagée entre sa consommation privée $\bar{x}_i^*$ et la part affectée en tant qu'input x^i à la production en autarcie de $\bar{y}^*$.

Notons que la propriété de RIA est équivalente à celle de la RI en économie d'échange sans production.

2.3.4 - Rationalité individuelle et mécanismes Incitatifs

Saijo [1991] explore la compatibilité entre la propriété de révélation des préférences en stratégies dominantes et celle des deux acceptions de la participation volontaire. Il montre que les mécanismes IC appliqués aux problèmes de l'offre d'un bien public pur, ne peuvent pas passer le test du Stand Alone. Cette critique s'étend également aux mécanismes de

concrétisation des fonctions de choix social en équilibre de Nash et qui parviennent à un optimum parétien de premier rang.

Les caractéristiques d'un agent sont représentées par le triplet $e_i(w_{x_i}, u_i, f_i)$ Saijo [1991]. L'ensemble $e(e_1, e_2, \dots, e_n)$ est considéré comme représentant l'environnement. Soit E_i l'ensemble des caractéristiques d'un agent et soit $E = \times E_i$. Les dotations des agents et leur fonction de production sont connaissances communes et par conséquent e_i peut être perçu comme la fonction d'utilité de i . Supposons également que E_i est l'ensemble de toutes les fonctions d'utilité concaves, monotones et continues. Soit $S_i = E_i$ l'ensemble de toutes les stratégies possibles de i .

Un mécanisme directe de révélation est une fonction $g : E \rightarrow A$, avec A l'ensemble des allocations réalisables. Soit $\hat{s}_i (= \hat{u}_i)$ la stratégie de i correspondant à la véritable révélation de ses préférences et soit $g_i(s) = (x_i, y)$, et $g(s) = ((x_i), y)$.

DEFINITION 5.11 : UN MECANISME RIA

Un mécanisme g est RIA, si et seulement si, $\forall s$, $g(s)$ est RIA lorsque l'ensemble des allocations obtenu à partir de s est non vide.

PROPOSITION [SAIJO 1991]

Supposons au moins deux participants à un mécanisme direct révélateur sur E_i l'ensemble des fonctions d'utilité continues, concaves et monotones.

Il n'existe pas de mécanisme RIA et IC.

Notons cependant que dans une économie sans biens publics, la propriété IC est compatible avec la RIA.

2.4 - Abandon de l'Optimum de Pareto

Nous avons jusque là relevé les deux principaux défauts des mécanismes C-G-V, à savoir, le déséquilibre budgétaire et l'absence de participation volontaire. En outre, les

résultats généraux qui ont jalonné la littérature sur les mécanismes incitatifs fournissent une liste de théorème d'impossibilité. En effet :

Il n'existe pas, dans le cadre d'une économie d'échange de biens privés, de mécanismes qui assure la compatibilité entre l'OP, l'IC et la RI [Hurwicz 1972].

Il n'existe pas, dans une économie d'échange de biens publics, de mécanisme qui assure la compatibilité entre l'OP, l'IC et la RI [Ledyard et Roberts 1974⁷²].

Tous les mécanismes IC sont incompatibles avec l'OP, dans les économies avec ou sans biens publics [Hurwicz et Walker 1990].

Dans ces conditions, si la priorité dans le choix du mécanisme porte sur l'IC, il est évident qu'il faille abandonner l'OP.

Toutefois, tous les biens publics ne sont pas purs. Même lorsqu'ils sont purs, il est possible de les associer à un bien privé divisible, de sorte que la consommation du bien public devient obligatoire [Dixit et Olson 2000]⁷³. Mais cette solution ne résout pas le problème de la rationalité individuelle.

La possibilité de lever l'une des caractéristiques des biens publics, à savoir l'exclusion d'usage est une des solutions permettant de parvenir à corriger les défauts des mécanismes CVG, [Laffont 1988, Moulin 1994, Moulin et Shenker 1996, Deb et Razzolini 1999]. Si dans les mécanismes de CVG le prix à payer la révélation des préférences est le surcoût systématique, *"...instead of "burning money" to pay for the incentive compatibility cost, this approach uses the possibility of exclusion and by excluding individuals from the public project, burns utility to pay the incentive cost of operating a revelation mechanism."* [Deb et Razzolini 1999].

⁷² cité in Saijo [1991]

⁷³ Le concept du "packaging" de Dixit et Olson [2000] est une alternative à l'absence de rationalité individuelle. L'idée suggérée est la suivante. Si les agents ne tirent pas une utilité suffisante du bien collectif qui les incitent à participer volontairement à sa production, il est possible d'associer ce dernier à un autre bien, et de ne vendre que le lot. *"... it is a relatively gentle kind of coercion, relying on individual's self-interest, ..."* p. 333.

C'est dans cet esprit que Moulin [1994], propose le mécanisme sériel pour pallier les deux inconvénients des mécanismes incitatifs traditionnels.

SECTION 3 : LE MECANISME SERIEL D'ALLOCATION DE COUT

La clé de la démonstration de la propriété de révélation en stratégies dominantes du mécanisme sériel d'allocation des coûts est le théorème de Dasgupta *et al.* [1979] et Maskin [1985] établissant une correspondance entre la concrétisation en équilibre de Nash et celle en stratégies dominantes.

THEOREME 5.5

Si le domaine des préférences est riche⁷⁴, si la fonction de choix social est concrétisable en équilibre de Nash, alors elle est concrétisable par un mécanisme direct en stratégies dominantes.

3.1 - Les hypothèses du mécanisme sériel

Les hypothèses du jeu non coopératif sont les suivantes :

- $0 \leq y \leq \bar{y}$ bien public,
- $c(y)$ Fonction de coût : croissante et strictement convexe,
 $c(0) = 0$ par convention,
- (x_i, y_i) Allocation de l'agent i,
 y_i : niveau de production du bien public,
 x_i : l'allocation sérielle du coût alloué à l'agent i,

$$x_i = \frac{c(y_i)}{n-i+1} - \sum_{j=i-1}^1 \frac{c(y_j)}{(n-j+1)(n-j)} \quad (4.16)$$

Le domaine des préférences est un sous-ensemble $D/[0, \bar{y}] \times [0, c(\bar{y})]$, monotone non décroissant en y_i et non croissant en x_i , non saturé localement, continue et convexe. $D^* \subset D$ est le sous-domaine des préférences strictement convexes. Les préférences des agents sont représentées par la fonction d'utilité $u_i(x_i, y_i)$.

⁷⁴ « Monotonic closedness » pour Maskin [1985].

L'ensemble des allocations réalisables s'écrit :

$$Z = \left\{ ((x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)) \mid 0 \leq y_i \leq \bar{y} ; x_i \geq 0 \text{ pour tout } i ; \sum_i x_i = c(\max_i y_i) \right\}.$$

Le bien est un bien public à exclusion et sera produit à hauteur de la plus importante demande, $\max_i y_i$. Les n agents ayant formulés différentes demandes du bien public, vont pouvoir consommer simultanément le même bien, mais en quantités différentes.

Le mécanisme sériel simple $\Gamma(c(\max_i y_i); u_1, \dots, u_n)$ est décrit par le jeu non coopératif en (3.2). Ce mécanisme simple permet d'illustrer le comportement stratégique des agents face à la règle de partage de coût. Ce jeu possède un équilibre de Nash Fort. En outre, cet équilibre est pareto-dominant à tout autre équilibre. Le domaine des préférences est un domaine riche et le théorème de Dasgupta-Hammond-Maskin peut être appliqué. Par conséquent, le mécanisme sériel direct est un mécanisme incitatif en stratégies dominantes.

3.2 - Le mécanisme simple

Première étape : les agents déterminent leur stratégie initiale

Dans cette première étape du jeu, les agents vont déterminer le niveau de leur demande d'unanimité correspondant au niveau d'utilité d'unanimité. En effet, rappelons que cette utilité d'unanimité $un(u_i, n) = \max_{y \geq 0} u_i \left(\frac{c(y)}{n}, y_i \right)$, est toujours soit sur la frontière parétienne, soit au-delà de cette frontière. Ce niveau d'utilité correspond dans le mécanisme sériel à la borne supérieure au bien-être de chaque agent.

Le programme de chaque agent s'écrit :

$$\begin{aligned} & \max_{y_i} u_i(x_i, y_i) \\ & \text{S/C} \begin{cases} x_i = \frac{c(y_i)}{n} \\ y_i \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

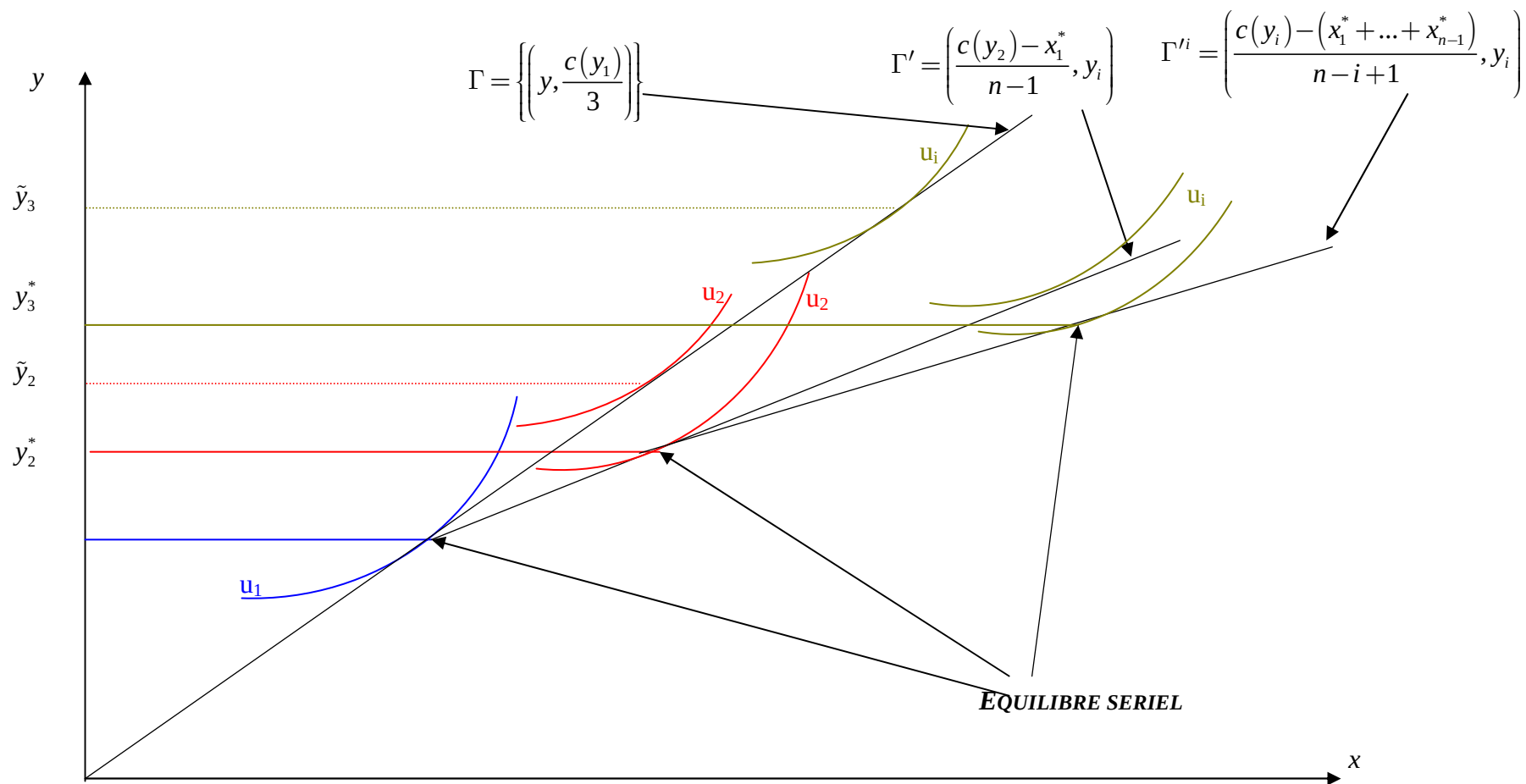
Chaque agent va donc déterminer sa stratégie optimale $\tilde{y}_i$ qui correspond à sa demande d'unanimité. Les demandes sont classées dans un ordre croissant ($\tilde{y}_1 \leq \dots \leq \tilde{y}_n$) et le vecteur des demandes d'unanimité s'écrit $(\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n)$. Cette stratégie correspond à une

stratégie prudente. En effet, $\frac{c(y_i)}{n}$ est le coût le plus élevé qui puisse être affecté à l'agent i , et par conséquent $u_i\left(\frac{c(y_i)}{n}, y_i\right)$ est l'utilité minimale que l'agent puisse escompter. Les agents ayant l'utilité d'unanimité la moins élevée se voient affectés un coût égal à $\tilde{x}_1 = \frac{c(\tilde{y}_1)}{n}$. Cette allocation de coût est indépendante des demandes qui sont supérieures à $\tilde{y}_1$, et par conséquent la stratégie $\tilde{y}_1$ est une stratégie d'équilibre pour les agents et nous noterons $\tilde{y}_1 = y_1^*$.

La figure 5.1 offre une représentation graphique de l'équilibre des agents à cette première étape du jeu. La courbe $\Gamma = \left(y_1, \frac{c(y_1)}{n}\right)$ est le lieu des allocations d'unanimité (x_i, y_i) de l'ensemble des agents i . Les demandes unanimes $(\tilde{y}_1, \dots, \tilde{y}_n)$ correspondent aux tangentes entre les courbes d'indifférences $u_1, \dots, u_n$ et la courbe Γ .

Pour tous les agents ayant formulés une demande de niveau 1, $\tilde{y}_1 = y_1^*$. Le jeu se poursuit avec le reste des agents $2, \dots, n$. Le couple (x_1^*, y_1^*) constitue une allocation d'équilibre du jeu pour les joueurs de niveau 1.

Figure 5.1 : Equilibre Sériel



Deuxième étape du jeu : Détermination de la stratégie des joueurs 2

Nous sommes en présence d'un jeu réduit avec les joueurs ayant formulés les demandes $(y_2, \dots, y_n)$. On réitère la procédure décrite à la première étape avec l'ensemble. Les joueurs calculent leur stratégies optimales, les demandes unanimes $\tilde{y}_{i \geq 2}$, compte tenu de la fonction de coût incrémental.

Le programme des agents i , $i \geq 2$ ayant annoncés une demande $\tilde{y}_{i \geq 2}$ est suivant :

$$\begin{aligned} & \max_{i \geq 2} u_i(x_i, y_i) \\ & \text{S/C } \begin{cases} x_i = \frac{c(y_2) - \frac{c(y_1^*)}{n}}{n-1} \\ y_i \geq y_1 \end{cases} \end{aligned}$$

Le mécanisme sériel d'allocation de coût effectue un partage égal des demandes unanimes $(\tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_n)$ entre les agents $2, \dots, n$ restants. Ces demandes sont classées dans un ordre croissant et pour les plus faibles de ces demandes, nous avons : $\tilde{y}_2 = y_2^*$. L'équilibre stratégique des agents ayant annoncés la deuxième plus faible demande est : $(x_2^*; y_2^*) = (\tilde{x}_2; \tilde{y}_2^*)$.

Sur le graphique 5.1, cette stratégie correspond à la tangente entre la courbe d'indifférence u'_2 et la courbe $\Gamma' \left(\frac{c(y_2) - \frac{c(y_1^*)}{n}}{n-1}, y_2 \right)$, lieu des allocations unanimes (x_i, y_i) des agents $i \geq 2$.

La $i^{ème}$ étape :détermination de la stratégie du $i^{ème}$ joueur

La procédure est toujours la même. La recherche des demandes unanimes, solutions du programme suivant :

$$\begin{aligned} & \max u_{i \geq i-1}(x_i, y_i) \\ \text{S/C } & \begin{cases} x_i = \frac{c(y_i)}{n-i+1} - \sum_{j=i-1}^1 \frac{c(y_j)}{(n-j+1)(n-j)}, \\ y_i \geq y_{i-1} \end{cases} \end{aligned}$$

et la caractérisation de l'équilibre stratégique des jours ed l'étape du jeu.

DEFINITION 5.12 : EQUILIBRE DE NASH FORT (ROBUSTE AUX MANIPULATIONS DES COALITIONS)

Un équilibre de Nash fort d'un jeu est un profil de stratégies $(y_1, ..., y_n)$ telle qu'aucune coalition déviante T ne peut améliorer le bien-être d'un de ses membre sans réduire celui d'un autre membre de T, en supposant que les stratégies de $N \setminus T$ restent inchangées.

THEOREME 5.6 [MOULIN 1994]

Soit u un profile de préférence appartenant à D. Le mécanisme sériel simple ainsi défini possède un équilibre fort essentiel unique $(y_1, ..., y_n)$ défini par induction de la façon suivante : $(y_{i1} \leq ... \leq y_{in})$ avec ,

$$\begin{aligned} y_{i1} &= \min_i t^+(u_i, n) = t^+(u_i, n), \\ y_{i2} &= \min_{i \neq i1} t^+(u_i, n-1, y_{i1}) = t^+(u_{i2}, n-1, y_{i1}), \\ &... \\ y_{ik+1} &= \min_{i \neq i1, ..., ik} t^+(u_i, n-k, y_{i1}, ..., y_{ik}) = t^+(u_{ik+1}, n-k, y_{i1}, ..., y_{ik}). \end{aligned}$$

Cet équilibre de Nash de la plus importante demande y_i est également un équilibre de Nash pareto-supérieur pour tous les agents. Il est en particulier unique lorsque les préférences sont strictement convexes et/ou la fonction de coût est strictement convexe.

3.3 - Le mécanisme direct

A chaque fonction de coût $c(y)$ et profil d'utilité $(u_1(x_1, y_1), \dots, u_n(x_n, y_n))$ dans D , notons $S^*(c(y), u_1, \dots, u_n)$ l'écriture formelle de l'ensemble des allocations sérielles (x_i^*, y_i^*) , $i=1, \dots, n$, telles que décrites dans le théorème ci-dessus. Nommons S^* la fonction de choix social sérielle.

D'après les théorèmes de Dasgupta-Hammond-Maskin [1979] et celui de Maskin [1985], et compte du fait que le domaine des préférences défini est un domaine de préférence *Riche*, la fonction de choix social sérielle définie ci-dessus est concrétisable par un mécanisme direct révélateur en stratégies dominantes.

THEOREME 5.7 : [MOULIN 1994]

Le mécanisme sériel direct est ICG. Il satisfait la propriété de la RIA c'est-à-dire le test du stand alone.

En effet, si l'agent i demande la quantité y_i de bien public, sa demande sera satisfaite et il payera au maximum $c(y_i)$, dans la mesure où cette allocation de coût constitue sa borne inférieure au bien-être (cf. chapitre 4).

Le mécanisme sériel direct est le mécanisme qui associe, à chaque profil d'utilité $(u_1(x_1, y_1), \dots, u_n(x_n, y_n))$ tel que décrit dans le corps des hypothèses, l'allocation en équilibre de Nash du mécanisme $\Gamma(c(\max_i y_i); u_1, \dots, u_n)$.

3.4 - Propriétés du mécanisme sériel

Le mécanisme sériel est un mécanisme qui concrétise la fonction de choix social sérielle. Ce mécanisme est donc IC, ICG, RI, RIA et équilibre le budget (cf. chapitre 4).

Ce mécanisme de partage de coût satisfait en outre aux propriétés normatives des bornes individuelles au bien-être,

la borne (d'unanimité) supérieure au bien-être

$$u_i(x_i^*, y_i^*) \geq \max \left\{ u_i \left(\frac{c(y_i)}{n}, y_i \right) \right\},$$

la borne (du Stand Alone) inférieure au bien-être

$$u_i(x_i^*, y_i^*) \leq \max \{ u_i(c(y_i), y_i) \}, \text{ ainsi que}$$

En revanche, il n'est pas efficace au sens où, il ne concrétise le niveau optimal de production du bien public. Comme son rival le mécanisme du Pivot, il n'est pas PO.

En définitive, entre les deux mécanismes IC présenté ici, compte tenu du fait qu'ils ne soit, tous les deux, pas parétiens, le choix devrait s'opérer entre la recherche de l'efficacité ex-post, c'est-à-dire la production du niveau optimal de bien public, et la participation volontaire (RI ou RIA) assorti d'un équilibre budgétaire.

Le dilemme est par conséquent le suivant :

EFFICACITE EX-POST

VERSUS

EQUILIBRE BUDGETAIRE ET PARTICIPATION VOLONTAIRE

Il est néanmoins utile de comparer les deux mécanismes à l'aune du surplus collectif qu'ils produisent.

SECTION 4 : COMPARAISON DES SURPLUS COLLECTIFS DES MECANISMES DU PIVOT ET DU SERIEL : UN MODELE

La comparaison entre les deux mécanismes reste sujette à discussion dans la mesure où le résultat final est influencé par de nombreux facteurs qui ne font pas l'objet de notre discussion. Moulin et Shenker [2001], dans un modèle en environnement quasi-linéaire, comparent les deux mécanismes à l'aune de la perte de bien-être collectif, par rapport à l'optimum de premier rang qu'occasionnent ces derniers. La fonction de coût est sous-modulaire⁷⁵ (submodular). Ils concluent à la supériorité du mécanisme sériel, en termes de bien-être collectif, puisque la perte de bien-être est moins importante que celle du mécanisme des mécanismes de Groves. En outre, dans les problèmes de partage de coût il serait préférable de respecter l'équilibre budgétaire et la contrainte du Stand Alone au détriment de l'efficacité [Moulin et Shenker 2001, Deb *et al.* 1999].

Nous proposons un modèle pour comparer le bien-être collectif des deux mécanismes incitatifs, dans le cas où, la fonction de coût est convexe.

L'objet de ce modèle n'est pas de montrer les propriétés incitatives des mécanismes du pivot et du mécanisme sériel, mais d'effectuer une comparaison en terme d'efficacité entre l'allocation des coûts obtenue par le mécanisme du pivot, et l'allocation des coûts obtenue par le mécanisme sériel. La performance des mécanismes se mesure à l'aune de la plus faible perte de bien-être par rapport à l'optimum de Pareto, i.e. les conditions de Samuelson [1954].

Considérons une économie comprenant trois agents, et deux biens. Un bien public y et un bien privé consommé en quantité x. Nous cherchons à déterminer le niveau efficace de bien public à produire, celui qui maximise la somme des utilités des agents.

⁷⁵ C'est-à-dire que le coût marginal $C(S \cup i) - C(S)$ de l'entrée d'un agent i à un ensemble S d'autres agents, ne s'accroît pas lorsque la taille de l'ensemble S augmente. Autrement dit, une fonction de coût C sous-modulaire, est une fonction de coût concave de $|S|$.

La fonction de coût :

La fonction de coût du bien public $c(y)$ est convexe, et par conséquent les rendements d'échelle sont décroissants. Pour des raisons de commodité de lecture des résultats, nous supposons que la fonction de coût à la forme suivante :

$$c(y) = y^2$$

Les préférences :

Les préférences des agents sont représentées par des fonctions d'utilité quasi-linéaires. Ce choix des utilités quasi-linéaires est motivé par le fait que le mécanisme du pivot n'est incitatif que sur un domaine de préférences représentées par des fonctions d'utilité quasi-linéaires, tandis que le mécanisme sériel (simple) l'est sur des préférences convexes. Les trois agents sont dotés des fonctions d'utilité suivantes :

$$U_1 = \theta_1 y - x_1 \qquad U_2 = \theta_2 y - x_2 \qquad U_3 = \theta_3 y - x_3$$

y représente le niveau du bien public consommé, avec $U_i = V_i(y) - x_i$,

$v_i(y)$ mesure la disposition à payer le bien public y ,

x_i représente un bien privé numéraire, le transfert prélevé en contrepartie du bénéfice de la consommation de y . Il s'agit du coût alloué.

Nous procédons en trois temps. Dans un premier temps, nous déterminons le niveau de production efficace du bien public respectant les conditions de Samuelson [1954] ; au cours de la deuxième et troisième étape, nous calculons respectivement l'allocation des coûts et le surplus collectif obtenu par le mécanisme du pivot et par le mécanisme sériel.

4.1 - L'optimum de production du bien public

Les Conditions de Samuelson [1954] exigent que la somme des dispositions marginales à payer ($TMS_{y/x}$) est égale au coût marginal du bien public:

$$\sum_i \frac{\frac{\partial u_i}{\partial y}}{\frac{\partial u_i}{\partial x_i}} = \frac{\partial c(y)}{\partial y}$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial y} = \theta_1, \quad \frac{\partial u_2}{\partial y} = \theta_2, \quad \frac{\partial u_3}{\partial y} = \theta_3, \text{ et } \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 1 \quad \text{fi} \quad \sum_i \frac{\partial u_i}{\partial y} = \sum_i \theta_i$$

Le coût marginal de production du bien public est de :

$$\frac{\partial c(y)}{\partial y} = 2y$$

Le niveau pareto-optimal de production du bien public dérive des conditions de premier

ordre :

$$y^* = \frac{1}{2} \sum_i \theta_i$$

L'optimum de premier rang se caractérise par le niveau de production $\left\{ y = \frac{1}{2} \sum_i \theta_i \right\}$.

Le surplus collectif est de : $W_{op} = \sum_i u_i = \frac{1225}{48} = 25,52,$

sous la contrainte de l'équilibre budgétaire : $\sum_{i=1}^3 x_i = \frac{1}{4} \left(\sum_i \theta_i \right)^2.$

4.2 - L'allocation des coûts par le mécanisme du pivot

Le bien public est pur, i.e. possède les deux caractéristiques de non exclusion d'usage et d'indivisibilité de consommation. L'ensemble des allocations réalisables s'écrit :

$$Z = \left\{ (y; x_1, \dots, x_n) \mid 0 \leq y \leq \bar{y} ; x_i \geq 0 \text{ pour tout } i ; \sum_i x_i \leq c(y) \right\}$$

Le mécanisme du pivot décrit un jeu non coopératif dans lequel les agents annoncent leur préférence au décideur et celui-ci calcule la stratégie optimale, en l'occurrence le niveau de la demande, de chaque agent en leur affectant un coût.

La fonction d'utilité collective que le décideur cherche à maximiser :

$$\begin{aligned} \max_{y \geq 0} W &= \sum_{i=1}^{n=3} u_i = \sum_{i=1}^{n=3} v_i - \sum_{i=1}^{n=3} x_i \\ s / c \quad &\sum_{i=1}^{n=3} x_i \leq c(y) \end{aligned}$$

Les conditions de premier ordre nous donne le niveau de production correspondant à un optimum de premier rang :

$$\frac{\partial W(y)}{\partial y} = \sum_i \theta_i - 2y = 0 \quad \Leftrightarrow \quad y^* = \frac{1}{2} \sum_i \theta_i$$

Le coup de production du niveau optimal :

$$c(y^*) = \frac{1}{4} \left(\sum_i \theta_i \right)^2$$

Le mécanisme du pivot, alloue un coût fixe à chacun des agents auquel se rajoute une surtaxe aux agents pivots qui font basculer la décision collective en leur faveur.

Rappelons la règle d'allocation des coûts (ou de transfert) du mécanisme du pivot dans le cas où le bien public est produit :

$$x_i = \frac{c(y)}{n} + \left[\frac{c(y)}{n} (n-1) - \sum_{j \neq i} v_j(k, \theta_j) \right].$$

Le coût alloué a deux composantes :

- une composante forfaitaire : $\frac{c(y)}{n}$,
- une composante incitative $\left[\frac{c(y)}{n} (n-1) - \sum_{j \neq i} v_j(k, \theta_j) \right]$.
 - $\sum_{j \neq i} v_j(k, \theta_j)$, le bénéfice que retirent les agents $j \neq i$ de l'exécution du projet efficace.
 - $\frac{c(y)}{n} (n-1)$ coût supporté par les agents $j \neq i$, compte tenu de leur caractéristiques θ_j .

La différence entre les deux termes mesure l'externalité que fait peser la décision de l'agent pivot sur le reste de la collectivité.

4.2.1 - Détermination des agents pivots

Pour déterminer le ou les agents pivots, à partir de la situation factuelle, nous procédons en deux étapes. Dans la première nous allons déterminer le surplus collectif de l'ensemble des n agents sous l'hypothèse d'un partage égalitaire du coût du bien public, en d'autres termes le surplus collectif à l'optimum de Pareto.

$$\sum_i v_i(k^*, \theta_i) - c(y)$$

Dans la seconde étape, nous mesurons le surplus collectif de n agents $j \neq i$, sans les préférences de i . C'est-à-dire :

$$\sum_{j \neq i} v_j(k^*, \theta_j) - \frac{c(y)}{n}(n-1)$$

Le signe de la différence entre ces deux dernières expressions détermine les agents pivots :

$$W_{-i}^* = \sum_i v_i(k^*, \theta_i) - \sum_{j \neq i} v_j(k^*, \theta_j) - \frac{c(y)}{n}.$$

si $W_{-i} < 0$, l'agent i est Pivot, et si $W_{-i} \geq 0$, l'agent i n'est pas pivot.

Hypothèse H1 : $\theta_1 < \theta_3 < \theta_2$.

Bien-être collectif du projet pour les agents $j \neq i$: $W_{-i} = (W - v_i)$

$$W_{-1} = \frac{1}{4}(\sum_i \theta_i)(-\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$W_{-2} = \frac{1}{4}(\sum_i \theta_i)(\theta_1 - \theta_2 + \theta_3)$$

$$W_{-3} = \frac{1}{4}(\sum_i \theta_i)(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3)$$

Remarque : *l'agent 3 est pivot si et seulement si $\theta_3 > \theta_1 + \theta_2$*

En effet, étant donnée l'hypothèse du classement des dispositions à payer des agents 1, 2 et 3, $W_{-1} > 0$ et $W_{-2} > 0$.

En revanche, pour l'agent 3, deux cas de figure peuvent se présenter. $W_{-3} > 0$ lorsque $\theta_3 < \theta_1 + \theta_2$. Dans ce cas, aucun des agents n'est pivot et l'allocation finale est parétienne dans la mesure il n'y a pas de surtaxe.

$W_{-3} < 0$ lorsque $\theta_3 > \theta_1 + \theta_2$. Ce qui signifie qu'en l'absence de la disposition à payer de l'agent 3, autrement dit en l'absence des caractéristiques θ_3 , le bénéfice collectif de l'exécution de *ce projet* aurait été négatif. Sa présence est indispensable pour la concrétisation de la décision collective.

Notons que $W_{-3} < 0$ est l'expression du bien-être des agents 1 et 2 dans la situation factuelle. C'est à l'aune de cette expression que va être mesuré le poids de l'externalité que l'agent 3 impose aux agents 1 et 2.

Hypothèse H2: $\theta_3 > \theta_1 + \theta_2$

4.2.2 - *Projet alternatif en situation hypothétique*

Dans cette situation hypothétique, l'agent 3 est présent, il consomme le bien public dans la mesure où celui-ci est non excluable, mais ses préférences sont ignorées. En d'autres termes, nous supposons qu'il partage avec les autres le coût de production de leur projet alternatif.

Le programme permettant de déterminer le niveau de production du bien public dans cette situation est le suivant :

$$\begin{aligned} \max_{y \geq 0} W_{-3} &= \sum_{i=1}^{n=2} v_i - \sum_{i=1}^{n=3} x_i = \theta_1 y + \theta_2 y - \frac{2}{3} y^2 \\ s / c \quad &\sum_{i=1}^{n=3} x_i \leq c(y) \end{aligned}$$

La solution de ce programme est la suivante :

$$y_{-3}^* = \frac{3}{4}(\theta_1 + \theta_2).$$

Le bien-être collectif qui en résulte est de :

$$W_{-3}^* = \frac{3}{8}(\theta_1 + \theta_2)^2$$

Par conséquent, l'externalité des préférences de l'agent 3 se mesure par la différence entre W_{-3}^* et W_{-3} et correspond au montant de la surtaxe t_p infligé à celui-ci.

$$t_p = W_{-3}^* - W_{-3} = \frac{1}{8}(\theta_1^2 + 2\theta_1\theta_2 + \theta_2^2 + 2\theta_3^2).$$

Les allocations de coût du mécanisme du pivot sont les suivants :

$$x_1 = \frac{1}{12}(\sum_i \theta_i)^2, \quad x_2 = \frac{1}{12}(\sum_i \theta_i)^2 \quad \text{et} \quad x_3 = \frac{1}{12}(\sum_i \theta_i)^2 + \frac{1}{8}(\theta_1^2 + 2\theta_1\theta_2 + \theta_2^2 + 2\theta_3^2)$$

Le surplus collectif : $SC_p = \sum_{i=1}^3 u_i = \frac{1}{8}(\theta_1^2 + 2\theta_1\theta_2 + 4\theta_1\theta_3 + \theta_2^2 + 4\theta_2\theta_3) =$

4.3 - Mécanisme sériel

A supposer que l'on conserve la même problématique, et voyons quel niveau de production de bien public serait concrétisé par le mécanisme sériel et comment ce dernier alloue les coûts entre les différents agents.

Nous supposons pour cela qu'il existe une possibilité d'exclusion partielle de l'usage du bien public, c'est-à-dire que les trois agents consommeraient simultanément le même bien mais en quantités différentes. L'exclusion partielle de l'usage est une solution au problème du passager clandestin. Ainsi, l'agent i ayant payé x_i pour la consommation de la quantité y_i du bien public, peut être exclu de la consommation des quantités $y_j \geq y_i$. Le niveau de production de bien public est égal à la plus forte demande et la fonction de coût s'écrit :

$$c(y) = \left(\max_{i=1, \dots, n} y_i \right)^2.$$

En d'autres termes, chaque agent recevra la quantité de bien public qu'il aura demandé au prix alloué par le sériel. Toutes les demandes sont satisfaites.

L'ensemble des allocations réalisables s'écrit :

$$Z = \left\{ ((y_1, x_1) \dots (y_n, x_n)) \mid 0 \leq y_i \leq \bar{y} ; x_i \geq 0 \text{ pour tout } i ; \sum_i x_i = c(\max_i y_i) \right\}$$

Le jeu associé au mécanisme simple se décline en trois étapes.

Première étape du jeu

Chaque agent détermine la valeur de sa stratégie - demande - en maximisant sa fonction d'utilité sous contrainte de coût. Il va, dans un premier temps concevoir une stratégie prudente qui consiste à supposer que le coût qui va lui être affecté est le coût maximum $x_i = \frac{c(y_i)}{n}$ correspondant à la demande unanime. Ce coût est indépendant des demandes supérieures.

Cette stratégie, dans la mesure où, l'agent anticipe le coût le plus élevé, lui garanti un niveau d'utilité minimum le plus élevé.

Le programme des agents à cette première étape s'écrit :

$$\max_{y_i} u_i = v_i(y) - x_i$$

$$S / C \quad \frac{c(y)}{n}$$

Les niveaux d'utilité correspondant à une allocation égalitaire du coût de production sont :

$$u_1 = \theta_1 y - \frac{1}{3} y^2$$

$$u_2 = \theta_2 y - \frac{1}{3} y^2$$

$$u_3 = \theta_3 y - \frac{1}{3} y^2$$

Les conditions de premier ordre $\tilde{y}_i \left| \frac{\partial u_i}{\partial y} = 0 \right.$ permettent de déterminer les niveaux des demandes des agents :

$$\tilde{y}_1 = \frac{3}{2} \theta_1$$

$$\tilde{y}_2 = \frac{3}{2} \theta_2$$

$$\tilde{y}_3 = \frac{3}{2} \theta_3$$

Ces niveaux de demandes de bien public sont représentés sur la figure 5.1. Ils correspondent aux points tangents entre les courbes d'indifférence et la courbe d'unanimité de niveau 1 Γ_1 .

Les coûts $\tilde{x}_i$ affectés à ces niveaux de demandes

$$\tilde{x}_1 = \frac{3}{4} \theta_1$$

$$\tilde{x}_2 = \frac{3}{4} \theta_2$$

$$\tilde{x}_3 = \frac{3}{4} \theta_3$$

Les demandes des agents sont classées dans l'ordre croissant. Compte tenue de l'hypothèse H1, nous avons donc : $\tilde{y}_1 < \tilde{y}_2 < \tilde{y}_3$. La demande de l'agent 1 est indépendante des demandes qui lui sont supérieures, et il en va de même pour son allocation de coût. La stratégie $(\tilde{x}_1, \tilde{y}_1) = \left(\frac{3}{4} \theta_1^2, \frac{3}{2} \theta_1 \right)$ du joueur 1 correspond donc à une stratégie d'équilibre que l'on notera (y_1^*, x_1^*) .

$$L'équilibre stratégique du joueur 1 est : (y_1^*, x_1^*) = \left(\frac{3}{4} \theta_1^2, \frac{3}{2} \theta_1 \right)$$

Deuxième étape du jeu, détermination de la stratégie des (n-1) joueurs restants

Nous considérons à présent le jeu avec les (n-1)=2 joueurs restants, et les allocations de coûts selon la formule sérielle.

Les agents 2 et 3 déterminent leur stratégie optimale, en maximisant leur utilité

sous contrainte de coût unanime $x_{i \geq 2} = \frac{c(y_2) - \frac{c(y_1^*)}{2}}{n-1}$, tel que décrit dans le tableau 4.4 du

chapitre 4, c'est-à-dire le coût sériel alloué à la deuxième plus faible demande correspondant au niveau 2.

On réitère la procédure pour les joueurs 2 et 3 en calculant les demandes d'unanimité de niveau 2.

Le programme de ces derniers s'écrit donc :

$$\begin{aligned} \max_{y_i > y_1^*} u_{i \geq 2} &= v_i(y) - x_i \\ S/C \quad &\left\{ \begin{array}{l} \frac{c(y_2) - \frac{c(y_1^*)}{2}}{n-1} \\ y_{i \geq 2} > y_1^* \end{array} \right. \end{aligned}$$

Le coût sériel alloué à la deuxième plus faible demande est de :

$$x_{i \geq 2} = \frac{1}{2}y^2 - \frac{3}{8}\theta_1^2$$

Les niveaux d'utilité des agents 2 et 3 s'écrivent :

$$u_2 = \theta_2 y - \frac{1}{2}y^2 + \frac{3}{8}\theta_1^2$$

$$u_3 = \theta_3 y - \frac{1}{2}y^2 + \frac{3}{8}\theta_1^2$$

Les conditions de premier ordre $\tilde{y}_2^* \left| \frac{\partial u_i}{\partial y} \right| = 0$ permettent de calculer les demandes optimales

à cette deuxième étape du jeu :

$$\frac{\partial u_2}{\partial y} = 0 \Leftrightarrow \tilde{y}_2 = \theta_2, \quad \frac{\partial u_3}{\partial y} = 0 \Leftrightarrow \tilde{y}_3 = \theta_3 \quad \text{et par conséquent } \tilde{y}_2 < \tilde{y}_3$$

$$L'equilibre strategique du joueur 2 : (x_2^*, y_2^*) = \left(\frac{1}{2}\theta_2^2 - \frac{3}{8}\theta_1^2, \theta_2 \right).$$

Troisième étape du jeu :

On réitère la procédure pour le joueur 3, avec le coût alloué à la troisième plus forte demande :

$$x_{i \geq 3} = \frac{c(y_3) - (x_2^*)}{3-2} = y^2 - \frac{1}{2}\theta_2^2 - \frac{3}{8}\theta_1^2$$

Le programme de l'agent 3 :

$$\begin{aligned} \max_y u_3 &= v_3(y) - x_3 \\ S/C \quad &\begin{cases} \frac{c(y_2) - x_2^*}{3-2} \\ y_{i \geq 3} > y_2^* \end{cases} \end{aligned}$$

Le niveau d'utilité de l'agent 3 s'écrit $u_3 = \theta_3 y - \frac{1}{2}\theta_2^2 - \frac{3}{8}\theta_1^2$ et

$$l'équilibre stratégique du joueur 3 est de : (x_3^*, y_3^*) = \left(\frac{1}{4}\theta_3^2 - \frac{1}{2}\theta_2^2 - \frac{3}{8}\theta_1^2, \frac{\theta_3}{2} \right)$$

Le surplus collectif du mécanisme sériel est de :

$$SC_s = \frac{1}{4}(6\theta_1^2 + 4\theta_2^2 + \theta_3^2).$$

4.4 - Différence des surplus collectifs des deux mécanismes

Récapitulatif des résultats :

l'allocation par le mécanisme sériel :

$$\left\{ y = \frac{\theta_3}{2} ; \begin{pmatrix} x_1 = \frac{3}{4}\theta_1^2, \\ x_2 = \frac{1}{2}\theta_2^2 - \frac{3}{8}\theta_1^2, \\ x_3 = \frac{1}{4}\theta_3^2 - \frac{1}{2}\theta_2^2 - \frac{3}{8}\theta_1^2 \end{pmatrix} \right\}$$

$$\sum_i x_i = c(y) ; SC_s = \frac{1}{4}(6\theta_1^2 + 4\theta_2^2 + \theta_3^2)$$

l'allocation par le mécanisme du Pivot :

$$\left\{ y = \frac{1}{2} \sum_i \theta_i ; \begin{cases} x_1 = \frac{1}{12} \left(\sum_i \theta_i \right)^2, \\ x_2 = \frac{1}{12} \left(\sum_i \theta_i \right)^2, \\ x_3 = \frac{1}{12} \left(\sum_i \theta_i \right)^2 + \frac{1}{8} \left(\theta_1^2 + 2\theta_1 \theta_2 + \theta_2^2 + 2\theta_3^2 \right) \end{cases} \right\},$$

$$\sum_i x_i \leq c(y) ; \quad SC_P = \frac{1}{8} \left(\theta_1^2 + 2\theta_1 \theta_2 + 4\theta_1 \theta_3 + \theta_2^2 + 4\theta_2 \theta_3 \right).$$

Soit $\delta = SC_S - SC_P$ le différentiel de bien-être collectif obtenu par les deux mécanismes.

L'expression de ce différentiel est la suivante :

$$\delta = \frac{1}{8} \left(11\theta_1^2 + 7\theta_2^2 + 2\theta_3^2 - 2\theta_1 \theta_2 - 4\theta_1 \theta_3 - 4\theta_2 \theta_3 \right).$$

Le gradient de cette fonction s'écrit :

$$\nabla \delta = [22\theta_1 - 2\theta_2 - 4\theta_3, -2\theta_1 + 14\theta_2 - 4\theta_3, -4\theta_1 - 4\theta_2 + 4\theta_3].$$

Ce vecteur ligne des dérivées partielles premières s'annule pour :

$$\{\theta_1 = 0, \theta_2 = 0, \theta_3 = 0\}$$

La matrice hessienne H de la fonction δ s'écrit :

$$H = \begin{bmatrix} 22 & -2 & 4 \\ -2 & 14 & -4 \\ -4 & -4 & 4 \end{bmatrix}.$$

Les mineurs principaux du déterminant Hessian sont tous positifs, la forme quadratique δ est donc définie positive.

La fonction atteint par conséquent un minimum pour la solution $\{\theta_1 = 0, \theta_2 = 0, \theta_3 = 0\}$ qui annule le gradient de la fonction δ .

En conclusion, le surplus collectif du mécanisme sériel est supérieur au surplus du mécanisme du pivot.

Commentaires :

Une illustration numérique permet une meilleure lisibilité des résultats de cette comparaison. Pour les valeurs suivantes des paramètres des préférences des agents,

$$\theta_1 = \frac{1}{6}, \quad \theta_2 = \frac{3}{4}, \quad \theta_3 = 2$$

les résultats sont restitués dans le tableau suivant :

Tableau 5.2 : Résultats de la comparaison des mécanismes

	x_1	x_2	x_3	y	$c(y)$	$\sum_i x_i$	$\sum_i u_i$
Pivot	0.7	0.7	1.8	1.46	2.13	3.2	1.02
Sériel	0.03	0.17	0.7	1	1	1	1.6

Le surplus collectif, 1.6, du mécanisme sériel est supérieur à celui du mécanisme du pivot, 1.02. Pour ce dernier, la somme des transferts est supérieure au coût du bien public produit. Cet excédent budgétaire ne pourra pas être redistribué, sauf à remettre en cause la propriété IC du mécanisme. Dans le premier cas, l'équilibre budgétaire est respecté. Par ailleurs, le niveau de production du bien public concrétisé dans le cadre du mécanisme sériel est toujours [Moulin 1995], inférieur à celui du mécanisme du pivot, qui lui concrétise le niveau efficace du bien public.

Les aspects redistributifs des deux mécanismes sont tout aussi intéressants à commenter. Les niveaux d'utilité des agents résultants de chacun des mécanismes sont significatifs. Ces derniers, avec les limites imposées par les tests d'équité que constituent les bornes individuelles au bien-être, sont représentés dans le tableau suivant:

	u_1	u_2	u_3
Pivot	-0.46	0.38	2.2
Sériel	0.02	0.375	1.66
BIBE	0.007	0.14	1
BSBE	0.02	0.42	3

Notons dans un premier temps l'utilité négative du premier agent. Ce résultat est une illustration du non respect de la rationalité individuelle de l'agent. Ce cas est également une illustration des externalités négatives des préférences de l'agent 3 sur l'utilité de

l'agent 1. Par la même occasion, l'agent 3 quant à lui bénéficie de l'externalité positive des préférences, réduites, de l'agent 1. Si celui-ci avait le choix de la participation au mécanisme du pivot, il est évident qu'il aurait préféré renoncer à la consommation du bien public, compte tenu du coût qui lui est alloué.

Dans le cadre du mécanisme sériel, il pourrait avoir ce choix dans la mesure où le bien public est rendu excluable. L'agent 1 consommerait une quantité inférieure de bien public mais son niveau d'utilité serait supérieur. Sa démarche serait volontaire puisque l'effort fourni à la production du bien public est inférieur à l'utilité qu'il en retirerait.

Pour l'ensemble des agents, les niveaux d'utilité obtenus par le mécanisme sériel restent dans les limites imposées par les tests d'équité UPE et UGE.

Les deux mécanismes ne peuvent se comparer à l'aune du seul surplus collectif. Si l'abandon de l'équilibre budgétaire est le prix à payer la propriété de révélation du mécanisme du pivot, le prix du mécanisme sériel est l'exclusion d'usage. Mais, ce dernier présente l'avantage de proposer une tarification non linéaire originale et équitable.

CHAPITRE 6

LE MODELE

INTRODUCTION

Le seul outil économique proposé dans la littérature comme solution à la gestion des cours d'eau internationaux est celui des marchés de droits. Les variantes en sont multiples. Un marché de droits contingents pour Berk et Lipow [1994], une vente des droits aux enchères pour Zeitouni *et al.* [1994] ou la création d'une banque de l'eau pour centraliser les offres et les demandes pour Howitt [1994]. Comme justification à leurs propositions, les auteurs s'appuient sur des expériences nationales de marchés de droits. Or, ces modestes expériences nationales (*cf. chapitre 2*), que ce soit celle du Chili [Hearne et Easter 1997, OCDE 1999], celle de la Californie [Howitt 1994, OCDE 1999] ou celle de l'Australie [OCDE 1999], doivent leur existence à l'unique volonté politique, et surtout à la présence d'une autorité coercitive, l'Etat, qui systématiquement, a tranché sur la question de la répartition des droits de propriété. Le plus souvent, parce que politiquement moins coûteuse, c'est la règle du "*grandfathering*" qui a été instaurée.

Etonnamment, parmi les auteurs ayant proposé un marché de droit comme solution aux cours d'eau internationaux, aucun ne traite de la question de la définition des droits de propriété sur les ressources existantes.

En science politique, la littérature est riche de modèles qui traitent des conflits autour des cours d'eau internationaux. Des modèles mesurent le potentiel conflictuel des cours d'eau [Frey 1994], d'autres, les "*process models*" tels que l'ADR (Alternative Dispute

Resolution) ou le PIN (Process of International Negotiation), s'intéressent aux déroulements des conflits [Vlachos 1994] tandis que les "*outcome models*" tel que le MATS (Multi-Attribute Tradeoff System) analysent les issues des conflits [Anderson 1994].

Ces recherches ont permis de mettre en exergue les entraves à la nécessaire coopération pour la gestion des cours d'eau internationaux. Parmi celles-ci, la réciprocité, la souveraineté, l'équité et l'intensité de la dépendance de l'Etat par rapport à la ressource en question.

L'objet de ce modèle, est d'illustrer notre proposition, à savoir un BPI comme alternative aux marchés de droits pour l'utilisation des cours d'eau internationaux. Le partage de coût sériel du BPI garanti à chaque Etat la liberté de tarification, et donc la souveraineté sur la régulation nationale de la politique hydrique. En outre, les équilibres obtenus satisfont aux critères d'équité des bornes individuelles au bien-être.

Dans un premier temps, nous formalisons le fonctionnement de chacun des deux Etats en autarcie. Nous caractérisons l'allocation pareto-optimale des ressources en eau. Celle-ci est le résultat de la maximisation des surplus des consommateurs et du seul producteur d'eau qu'est l'Etat. Nous étudions les caractéristiques des fonctions de demande en eau à usage agricole et celles de la demande en eau urbaine. Nous envisageons le cas d'une subvention du prix de l'eau aux agriculteurs et nous mesurons la perte de welfare qui en résulte.

Dans une seconde partie, les deux Etats acceptent de coopérer pour le financement de la production d'un Bien Public International (BPI) dont l'objet est, la production et la distribution de l'eau aux consommateurs des deux Etats, ainsi que le traitement des eaux usées avant leur rejet dans le milieu naturel. La gestion physique de la ressource est envisagée à l'échelle des territoires des deux Etats par une Agence Internationale de l'Eau (AIE par la suite), gérée par les représentants de ces Etats. Chaque Etat conserve la maîtrise de sa politique interne quant à la régulation de la ressource, il conserve la possibilité de fixer les prix, et les quantités allouées aux différents usagers, sur lesquels il n'a aucune contrainte autre que le coût alloué par l'AIE.

Le mécanisme sériel se déroule de la façon suivante : chaque Etat annonce à l'AIE sa demande de BPI et cette dernière détermine le montant de la quantité de BPI totale à produire, calcule le coût total et alloue à chaque Etat un coût selon la formule sérielle.

L'AIE méconnaît les caractéristiques des Etats, et ces derniers peuvent être tentés de se comporter en passagers clandestins en annonçant une demande inférieure à celle dont ils auraient véritablement besoin.

Nos résultats sont les suivants :

1. Un mécanisme incitatif : l'annonce de la véritable demande par chaque Etat est une stratégie dominante,
2. Equité : lorsque le coût du BPI est partagé entre les deux Etats selon la formule sérielle ; d'une part la solution est un équilibre de Nash fort qui possède les caractéristiques d'équité discutées au chapitre 4, à savoir que la variation de l'utilité d'un Etat est circonscrite aux bornes inférieures et supérieures du bien-être de celui-ci;
3. Externalités : d'autre part, les externalités de production du BPI sont, soit positives, i.e. l'entrée d'un Etat sur toute section supplémentaire de production de BPI à l'origine prise en charge par un seul Etat contribue à la réduction du coût unitaire alloué à chacun ; ou alors nulles, i.e. chaque Etat prend en charge le coût incrémental de la production de tout nouvel accroissement de la demande de BPI ; mais en aucun cas les Etats ne subissent les externalités négatives des préférences de l'autre.
4. Souveraineté : La dernière caractéristique, associée au fait que le mécanisme sériel d'allocation de coût est un mécanisme incitatif, contraint les Etats à assumer l'entière responsabilité de toute politique interne ayant pour conséquence l'accroissement de la demande en BPI. Les Etats restent donc souverains dans leur politique de régulation et d'allocation des ressources.

SECTION 1 : EXPLOITATION DES RESSOURCES EN AUTARCIE

1.1 - La demande en eau d'un Etat

La consommation totale en eau de chaque Etat a deux composantes.

La Demande Urbaine en eau

Elle correspond à la somme de la consommation en eau domestique et de la consommation en eau industrielle, que nous agrégeons en consommation Urbaine. Elle sera, pour chaque Etat i , représentée par la fonction de demande inverse suivante :

$$P_i^U(q) = a_i - b_i q, \quad (6.1)$$

avec a_i la disposition à payer la première unité d'eau (Fischelson [1994] estime qu'elle appartient à un intervalle compris entre 1.65 et 2 \$/m³). Cette demande en eau pour les besoins domestiques et industriels a la particularité d'être inélastique. Notons $e_i^U = \frac{a_i - b_i q}{b_i q}$

la valeur de l'élasticité-prix de cette demande urbaine.

La Demande Agricole en eau

Le seconde composante de la demande est celle de la consommation en eau dans le secteur Agricole. Celle-ci est également représentée par une fonction de demande inverse qui prend la forme suivante :

$$P_i^A(q) = c_i - d_i q, \quad (6.2)$$

avec c_i le prix de réservation [0.7 \$/m³ selon Fischelson [1994]]. Cette demande est élastique et nous noterons $e_i^A = \frac{c_i - d_i q}{d_i q}$ l'élasticité-prix de la demande en eau à usage agricole.

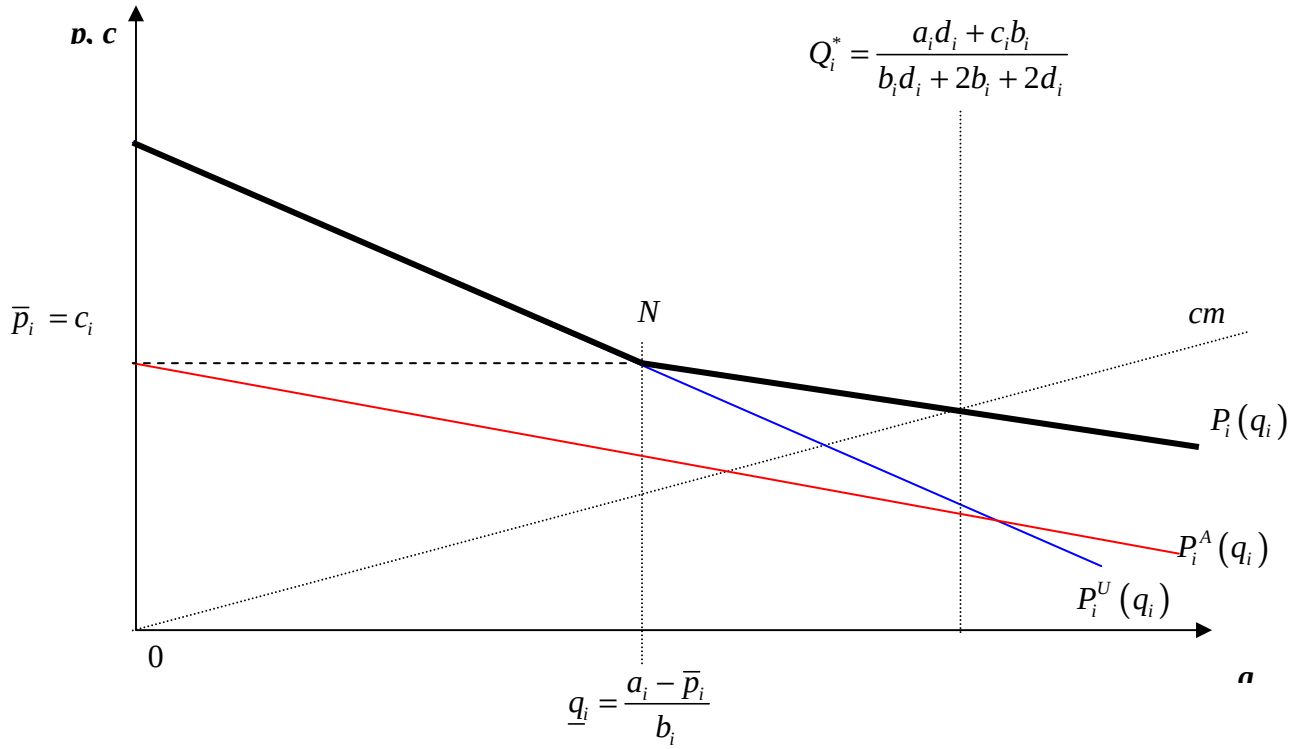
La Demande Totale en eau : agrégation des deux demandes

A tarification unique dans les deux secteurs, l'agrégation des deux fonctions $P_i^U(q)$ et $P_i^A(q)$ conduit à une fonction de demande totale inverse définie par paliers et qui s'écrit :

$$P_i(q) = \begin{cases} a_i - b_i q & \text{pour } 0 < q < \frac{c_i - a_i}{b_i} \\ \frac{c_i b_i + a_i d_i - b_i d_i q}{b_i + d_i} & \text{pour } q > \frac{a_i - c_i}{b_i} \end{cases} \quad (6.3)$$

avec, $a_i < c_i$ et $b_i > d_i$.

Figure 6.1 : La fonction de demande en eau agrégée d'un Etat



Le palier au point $N = \left(p = c_i, q = \frac{a_i - c_i}{b_i} \right)$:

La figure 6.1 représente la courbe (en gras) de la fonction de demande agrégée $P_i(q)$ ainsi que les courbes de demande Urbaine $P_i^U(q)$ (en bleu) et Agricole $P_i^A(q)$ (en rouge).

Le point N , au coude de la courbe de demande agrégée d'un Etat, correspond au prix de réservation de la demande agricole, et dont les coordonnées (p_i, q_i) sont :

$$N = \left(c_i, \frac{a_i - c_i}{b_i} \right).$$

Pour un prix de l'eau agricole au-delà de $p_i^A = c_i$, la demande agrégée se résume à la demande en eau urbaine. Les faits stylisés que nous avons relevé dans la littérature font apparaître que ce prix de réservation de la demande agricole est assez élevé, et il correspond à la disposition à payer la première unité d'eau des consommateurs d'eau des secteurs de la production agricole sous serre et de l'élevage de bétail. Ce prix, d'environ 0.7 \$/m³, est supérieur non seulement au prix d'équilibre de court terme 0.35 \$/m³, mais également au prix d'équilibre de long terme 0.45 \$/m³ [Fischelson 1994]. En outre, selon le même auteur, le coût marginal d'importation d'eau en provenance de l'Egypte, un des projets à l'étude pour une extension de la capacité de production locale, est évalué à 0.45\$/m³.

Par la suite, nous supposons donc systématiquement que, si la tarification est unique dans les deux secteurs, le prix plafond $\bar{p}_i$, ne peut pas dépasser le prix de réservation de la demande agricole: $\bar{p}_i \leq c_i$. Ainsi, compte tenu de la fonction de demande inverse agrégée (6.3), nous nous situons toujours sur la partie inférieure du coude, c'est-à-dire $q_i \geq \frac{a_i - c_i}{b_i}$. La quantité $\underline{q}_i = \frac{a_i - c_i}{b_i}$ constitue donc la consommation en eau minimale d'un Etat.

Hypothèse H1 : Prix plafond $\bar{p}_i = c_i$ et Consommation minimale $\underline{q}_i = \frac{a_i - c_i}{b_i}$

Si cette hypothèse semble triviale d'un point de vue de l'interprétation économique, une telle tarification conduirait à supprimer l'existence du secteur agricole, elle est donc économiquement non soutenable, elle reste nécessaire à préciser d'un point de vue technique parce qu'elle nous permet de restreindre la fonction de demande agrégée à la partie située en dessous du pallier N. L'expression de la demande agrégée qui s'écrit :

$$Q_i(p_i) = \begin{cases} -\left(\frac{1}{b_i} + \frac{1}{d_i}\right)p_i + \frac{a_i}{b_i} + \frac{c_i}{d_i} & \text{pour } 0 < p_i < c_i \\ \frac{a_i - p_i^U}{b_i} & \text{pour } c_i < p_i < a_i \end{cases},$$

se réduit à la simple expression :

$$Q_i(p_i) = -\left(\frac{1}{b_i} + \frac{1}{d_i}\right)p_i + \frac{a_i}{b_i} + \frac{c_i}{d_i} \quad \forall \quad 0 < p_i < c_i$$

La production d'eau en autarcie

Nous supposons que chaque Etat délègue à une entreprise nationale la production d'eau en l'astreignant à une tarification au coût marginal de production de la quantité totale d'eau.

Nous supposons également que le bien eau est homogène, c'est-à-dire que celui destiné à l'usage agricole est identique à celui destiné à l'usage urbain, de telle sorte que le coût marginal de la production de ce bien est le même pour les deux demandes.

La fonction de coût de l'entreprise nationale a la forme suivante : $C_i(q) = q^\alpha$. Dans un souci de lisibilité des résultats analytiques, nous fixerons la valeur de $\alpha = 2$. Nous nous situons donc dans la zone des rendements d'échelle décroissants : le coût marginal $\frac{\partial C_i(Q)}{\partial q} = 2Q$ est systématiquement supérieur au coût moyen $\frac{C_i(Q)}{Q} = Q$.

1.2 - Optimum de premier rang

Mesure du surplus collectif autarcique d'un Etat :

En Autarcie, chaque Etat i détermine la quantité Q_i^* qui maximise le Bien-être collectif W_i des ses agents, c'est-à-dire, le surplus des consommateurs et celui du producteur. Notons :

$$W_i = SC_i^U + SC_i^A + SP_i, \text{ avec}$$

$$SC_i^U = \int_0^{q_i^U} (P_i^U(q)) dq - p_i^U q_i^U, \text{ le surplus des consommateurs Urbains de l'Etat } i,$$

$$SC_i^A = \int_0^{q_i^A} (P_i^A(q)) dq - p_i^A q_i^A, \text{ le surplus des consommateurs Agricoles de l'Etat } i, \text{ et}$$

$$SP_i = \left[q_i^U P_i^U(q) + q_i^A P_i^A(q) - (q_i^U + q_i^A)^2 \right], \text{ le surplus du producteur d'eau de l'Etat } i.$$

L'expression du Bien-être collectif d'un Etat s'écrit donc :

$$W(q_i^U, q_i^A) = a_i q_i^U - \frac{1}{2} b_i (q_i^U)^2 + c q_i^A - \frac{1}{2} d (q_i^A)^2 - (q_i^U)^2 - 2 q_i^U q_i^A - (q_i^A)^2 \quad (6.4)$$

Il en résulte que le programme de l'Etat i s'écrit :

$$\max_{q_i^U, q_i^A} \left\{ W_i = \left[\int_0^{q_i^{*U}} (P_i^U(q_i)) dq + \int_0^{q_i^{*A}} (P_i^A(q_i)) dq \right] - (q_i^U + q_i^A)^2 \right\} \quad (6.5)$$

La résolution du programme (6.5) ci-dessus fournit les expressions des quantités d'eau pareto-optimales (q_i^{*U}, q_i^{*A}) qui maximisent le bien-être collectif d'un Etat. Les expressions de ces quantités sont :

$$q_i^{*U} = \frac{a_i d_i + 2a_i - 2c_i}{b_i d_i + 2b_i + 2d_i} \quad \text{et} \quad q_i^{*A} = \frac{c_i b_i - 2a_i + 2c_i}{b_i d_i + 2b_i + 2d_i}.$$

La quantité d'eau totale offerte par un Etat est :

$$Q_i^* = \frac{a_i d_i + c_i b_i}{b_i d_i + 2b_i + 2d_i}.$$

L'expression des prix optimaux :

$$p_i^{*U} = 2 \frac{a_i d_i + c_i b_i}{b_i d_i + 2b_i + 2d_i} \quad \text{et} \quad p_i^{*A} = 2 \frac{a_i d_i + c_i b_i}{b_i d_i + 2b_i + 2d_i}$$

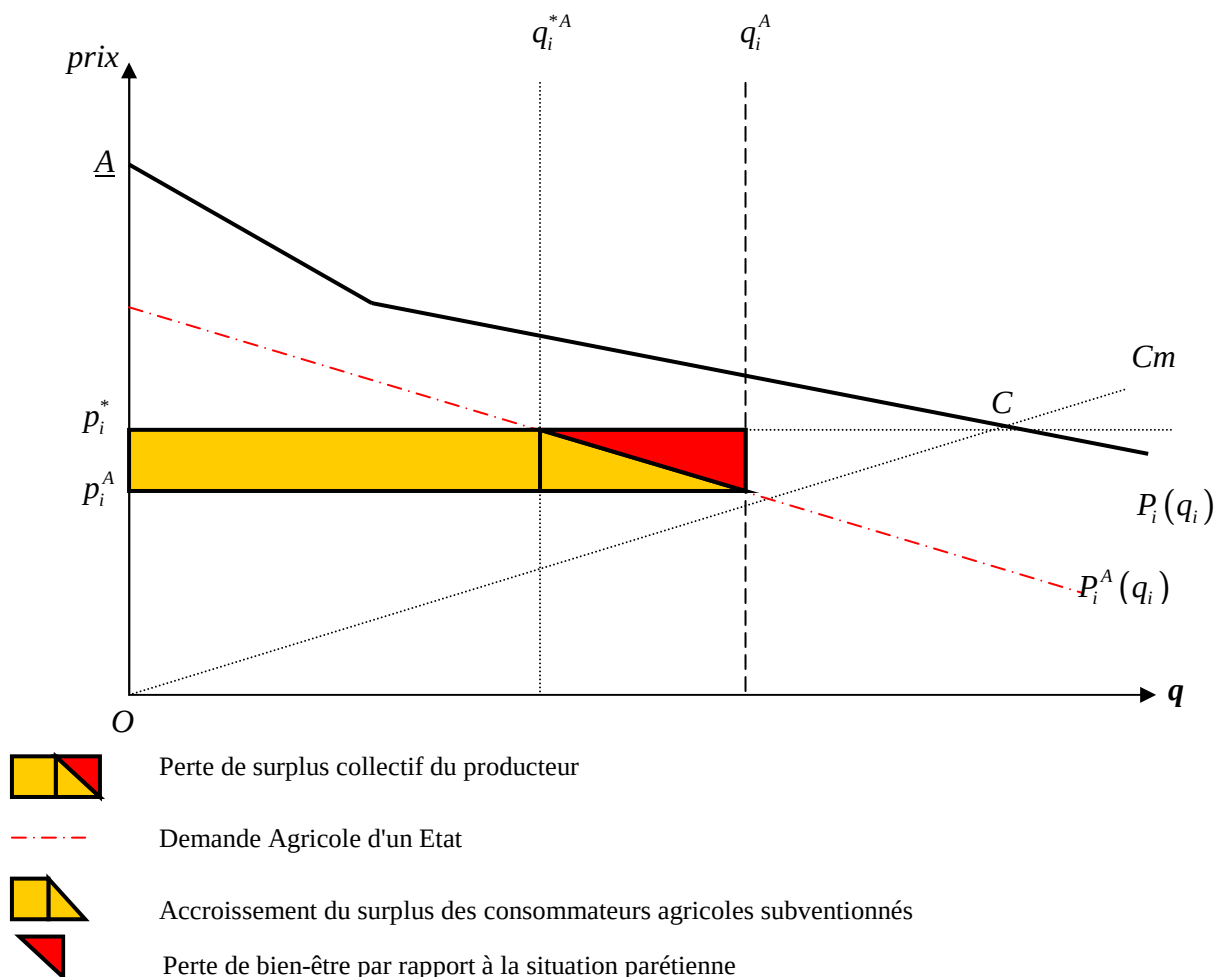
Notons que l'optimum de Pareto requiert une tarification unique des deux demandes, et que celle-ci est égale au coût marginal de la production agrégée : $\frac{\partial C_i(Q_i)}{\partial Q_i}$.

L'expression du surplus collectif parétien est :

$$W_i^{OP} = \frac{1}{2} \frac{b_i c_i^2 + a_i^2 d_i + 2a_i^2 - 4a_i c_i + 2c_i^2}{b_i d_i + 2b_i + 2d_i}$$

Sur le graphique 6.2, le surplus collectif est représenté par la surface OAC.

Figure 6.2 : Perte de bien-être collectif consécutive à la subvention du prix de l'eau aux agriculteurs



Politique Nationale de gestion de l'eau et perte de Bien-être collectif

Un Etat i peut, pour des raisons politiques ou pour d'autres raisons, vouloir privilégier le surplus d'une catégorie de consommateurs. Dans ce cas, l'Etat i subventionne le prix de l'eau aux consommateurs en question. C'est d'ailleurs cette situation que nous observons empiriquement au Proche-Orient, et que nous avons décrit dans le chapitre 1. Dans ces conditions, l'Etat accepte une perte de bien-être collectif par rapport à la situation parétienne.

On désigne par le couple prix (p_i^U, p_i^A) , l'instrument de la politique nationale menée par un Etat i en matière de gestion des ses ressources en eau.

La quantité d'eau totale Q_i consommée est égale à la somme des quantités Urbaines et

Agricoles, $Q_i = q_i^U + q_i^A$, avec : $q_i^U = \frac{a_i - p_i^U}{b_i}$ et $q_i^A = \frac{c_i - p_i^A}{d_i}$

Supposons que l'Etat i impose au producteur, une tarification au coût marginal dans le

secteur Urbain, $p_i^U = \frac{\partial C_i(Q_i)}{\partial Q_i}$ et une tarification inférieure au coût marginal dans le

secteur agricole, $p_i^A < p_i^{*A} = \frac{\partial C_i(Q_i)}{\partial Q_i}$.

La perte de bien-être collectif qui en résulte est représentée sur la figure 6.2. Elle est égale

au montant de la différence entre, d'une part, le coût de la subvention pour la collectivité

(i.e. le volume d'eau consommé par le secteur agricole q_i^A multiplié par le montant de la subvention $s_i = (p_i^* - p_i^A)$), et, d'autre part, l'accroissement de bien-être des agriculteurs.

La perte de bien-être qui résulte de cette subvention est :

$$\Delta W_i = (p_i^* - p_i^A)(q_i^A) - \int_{q_i^{*A}}^{q_i^A} P_i^A(q) dq = -\frac{1}{2} \frac{s_i^2}{d_i} \quad (6.6)$$

SECTION 2 : LE MODELE : LE PARTAGE DU COUT SERIEL DE LA PRODUCTION D'UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL

L'équité dans le partage d'une ressource environnementale correspond au problème du partage d'une manne. Un juste partage, lorsque les agents sont identiques, suggère une répartition égalitaire de la manne. Par conséquent, toute part supplémentaire attribué à un individu réduit d'autant la part totale allouée aux autres individus. Les externalités de consommation sont négatives, i.e. un accroissement de la part attribuée à un agent réduit d'autant la part attribuée aux autres agents, ou alors, lorsque n le nombre d'individus qui se partagent la manne augmente, la part égale $\frac{1}{n}$ alloué à chaque individu se réduit. Chacun

ayant, dans ces conditions, tout intérêt à ce que n soit le moins élevé possible. Or, lorsque deux agents I et P ont des préférences différentes pour la ressource faisant l'objet du partage, la doctrine utilitariste suggérerait d'allouer une part plus importante à celui dont les préférences pour le bien sont plus importantes. Les questions que se posent alors les

économistes sont la suivante : quelle est la répartition inégalitaire la plus équitable ? Quel degré d'inégalité pour un partage équitable ? Si les préférences de I sont supérieures à celles de P, justifiant du point de vue de l'optimalité parétienne une allocation supérieure à celle de P, comment rendre I comptable de ses externalités de préférences négatives ?

Par ailleurs, si nous prenons le cas d'un investissement destiné à améliorer la qualité de l'eau avant son rejet dans le milieu naturel, ce dernier est générateur d'externalités positives dont bénéficie l'ensemble des Etats riverains du cours d'eau en question.

En définitive, les Etats qui se partagent des ressources en eau internationales, subissent des externalités négatives et bénéficient d'externalités positives. C'est donc le partage de ces externalités qui, dans notre cadre d'analyse, constitue l'enjeu de l'équité.

En outre, notons que ces externalités, positives et négatives subsistent, même lorsque les droits de propriétés sur la ressource sont définis et échangés sur un marché.

Nous supposons que la ressource est considérée et définie comme une propriété indivisible, commune aux deux Etats I et P. Elle est le résultat de la production d'un bien public, dont la fonction de coût est convexe. Nous retrouvons alors une analogie avec le problème de partage d'une ressource, à savoir que nous sommes en présence d'externalités positives et d'externalités négatives. En effet, toute augmentation du nombre d'Etat participant à la production du BPI, réduit la part unitaire de coût alloué à chacun, tandis que toute demande de BPI de la part d'un Etat, supérieure à la demande des autres Etats, le coût marginal de production étant croissant, accroît le coût total de production à partager entre tous les Etats.

Nous appréhendons l'équité du partage des externalités de production à travers le prisme de la théorie des bornes individuelles au bien-être développée par Moulin [1990, 1991, 1992]. Les deux axiomes d'équité qui posent des bornes, inférieures et supérieures, aux bien-être des Etats, stipulent que le poids et le bénéfice des externalités doivent être uniformément répartis sur tous les individus, en l'occurrence sur tous les Etats.

Les deux Etats I et P participent à la production d'un BPI excluable y et acceptent le principe d'une allocation sérielle des coûts du financement de y . Ce bien public est constitué par les infrastructures soutenant la production et la distribution de l'eau à l'échelle du bassin versant, ainsi que de l'ensemble des activités annexes de gestion de cette ressource.

La contrainte sur les ressources se transforme en contrainte financière

Nous supposons que l'ensemble est géré de façon collégiale par une **Agence internationale de l'Eau** qui joue le rôle de principal. Evidemment, la question des droits et des obligations de celle-ci reste posée, et il appartiendra aux Etats de définir son rôle. Toutefois, nous supposons que celle-ci est neutre. Elle ne dispose d'aucun pouvoir coercitif qu'elle pourrait exercer à l'encontre des Etats quant à leur refus de contribuer au BPI. Néanmoins, dans la mesure où le BPI est excluable, elle disposera de la faculté de limiter la consommation des Etats en BPI à la part de coût qu'ils auraient demandé.

Les demandes en eau des Etats sont adressées à l'AIE. Elles sont toutes satisfaites dans la mesure où la production du bien public inclura les projets de développement de l'offre, soit par l'achat d'eau à l'extérieur du bassin versant soit par dessalement de l'eau de mer. Ainsi, la contrainte d'un Etat n'est plus une contrainte sur les quantités de ressources en eau disponibles, mais une contrainte financière, i.e. sa participation x_i à la production du BPI.

Compte tenu de l'ampleur de ces infrastructures, nous pouvons considérer que la production du BPI est à rendements décroissants. En effet, le niveau de rareté important atteint au Proche-Orient, impose le recours à des sources d'approvisionnement, soit plus éloignées, soit nécessitant des technologies coûteuses. La fonction du coût de production du bien public s'écrit :

$$c(y) = y^\beta, \forall \beta > 1^{76}.$$

2.1 - Fonction d'Utilité

Dans ce modèle d'équilibre partiel, nous supposons l'existence de deux biens. Un bien public y excluable, et un bien privé x parfaitement divisible servant de numéraire.

L'utilité $u_i(x_i, y_i)$ d'un Etat est fonction de deux arguments, croissante en y_i , la quantité de BPI auquel il aura accès et qu'il pourra consommer ; et décroissante en x_i le transfert effectué en contrepartie de la consommation de y_i . R_i est le stock en bien

⁷⁶ La présence de coût convexe est justifiée par le recours à des sources d'approvisionnement de plus en plus éloignée et de plus en plus coûteuse dans un contexte de rareté. L'ensemble des auteurs [Fischelson 1994, Zeitouni et al. 1994] ayant travaillé sur les ressources en eau au Proche-Orient, utilisent également des fonctions de coûts convexes.

numéraire détenu par l'Etat i . C'est une variable exogène. La fonction d'utilité est monotone sur ces deux arguments, et s'écrit :

$$u_i(x_i, y_i) = \theta_i y_i + (R_i - x_i). \quad (6.7)$$

La variable θ_i désigne le poids qu'un Etat accorde à la consommation du BPI. Elle détermine sa plus ou moins forte préférence pour celui-ci. Notons également que la fonction d'utilité quasi-linéaire conduit à interpréter θ_i comme la disposition à payer le BPI. Cette disposition à payer y_i est fonction des caractéristiques propres à chaque Etat.

Les fonctions d'utilité quasi-linéaires sont caractérisées par le fait que les préférences d'un Etat sont indépendantes du transfert monétaire. Par conséquent, elles excluent les effets revenus, et nous ignorons ainsi la richesse des Etats, i.e. leur dotation initiale en monnaie x . Nous supposons que ces dotations R_i sont telles que $R_i \geq x_i$. Les utilités marginales par rapport à x sont égales pour les deux Etats. La préférence pour le BPI est uniquement fonction des caractéristiques de l'agent, et non de sa richesse.

2.2 – Le BPI et l'eau

Chaque quantité d'eau produite, transportée, collectée après usage et traitée avant son rejet dans le milieu naturel, nécessite la mobilisation d'une quantité de bien public. Par conséquent, tout accroissement de la quantité d'eau demandée, requiert un accroissement de la production de BPI pour produire, transporter, collecter et traiter la quantité d'eau supplémentaire demandée et consommée. On peut donc aisément supposer une corrélation positive entre la quantité d'eau demandée par un Etat et la quantité de BPI nécessaire à sa fourniture.

Or tout naturellement, la quantité d'eau demandée par un Etat est une fonction décroissante du prix de l'eau. Par conséquent, la quantité de BPI demandée est inversement proportionnelle au prix de l'eau. Une réduction du prix de l'eau conduit automatiquement à une augmentation de la quantité d'eau demandée et *in fine* à un accroissement du poids accordé à la consommation du BPI.

Nous supposons que le poids θ_i d'un Etat, qui pondère ses préférences pour la consommation du BPI, i.e. le coefficient multiplicateur de y qui va déterminer sa plus ou moins grande préférence pour le BPI, est la quantité d'eau Urbaine et Agricole $Q_i(p_i^U, p_i^A)$ demandée à l'échelle nationale. Notons :

$$\theta_i = (q_i^U(p) + q_i^A(p)) = \left(\frac{a_i - p_i^U}{b_i} + \frac{c_i - p_i^A}{d_i} \right), \text{ ou alors}$$

$$\theta_i(p_i^U, p_i^A) = \left(\frac{a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}{b_i d_i} \right) \quad (6.8)$$

$$\text{Avec : } \frac{\partial \theta_i}{\partial p_i^U} = -\frac{1}{b_i} < 0 \text{ et } \frac{\partial \theta_i}{\partial p_i^A} = -\frac{1}{d_i} < 0 \quad (6.9)$$

En remplaçant cette expression dans la fonction d'utilité d'un Etat, cette dernière s'écrit :

$$u_i(x_i, y_i) = \theta_i(p_i^U, p_i^A) y_i - x_i, \quad (6.10)$$

Pour ne pas encombrer la formalisation, nous simplifions la notation de $\theta_i(p_i^U, p_i^A)$ par θ_i .

2.3 - La Souveraineté et la politique hydrique nationale

"...five important policy factors which influence a country position about international rivers, namely, (...), sovereignty and the perception of loss of control over domestic resources ..." [Vlachos 1994 p.8].

La souveraineté d'un Etat, eu égard à sa politique nationale de gestion de l'eau, est un facteur déterminant sur lequel les partenaires à la négociation pour le partage des ressources en eau transfrontières achoppent [LeMarquand 1978, Vlachos 1994].

Ancrer les préférences pour le BPI sur la fonction de demande en eau, permet de corréler la demande de BPI à deux catégories de facteurs.

D'une part, les facteurs inhérents à une nation, à savoir sa population, son niveau de développement, son organisation économique, et sur lesquels l'Etat n'a pas de prise directe (du moins à court terme). Ces facteurs, que nous qualifierons de facteurs structurels, modèlent l'allure générale de la fonction de demande agrégée en eau.

D'autre part, les facteurs politiques qui, dans notre contexte, représentent l'expression de la souveraineté d'un Etat sur sa politique nationale de gestion de l'eau, à savoir les prix de l'eau imposés aux secteurs urbain et agricole (p_i^U, p_i^A) . Nous supposons que les Etats conservent la maîtrise de ces derniers.

Chaque Etat est responsable de ses préférences, et les différences dans les préférences sont considérées comme neutre d'un point de vue éthique. Ces préférences reflètent les goûts et les besoins des Etats. Un Etat ne peut donc être critiqué pour des choix de politique interne.

Si les Etats disposent d'une liberté totale de la tarification de l'eau, et compte tenu de la corrélation négative entre la demande de BPI et la politique tarifaire menée à l'échelle nationale, la souveraineté d'un Etat passe bien évidemment par l'internalisation des conséquences des deux catégories de facteurs énoncées ci-dessus.

Chaque Etat devra donc être comptable, d'une part, du coût imposé par ses propres caractéristiques, i.e. les facteurs structurels et, d'autre part, du coût engendré par sa politique interne. Ainsi chaque Etat assumera l'entière responsabilité de ses préférences. Il n'y a en effet, aucune raison pour qu'un Etat prenne en charge, ou soit solidaire des préférences et des choix politiques de l'autre qui grèvent son bien-être.

Soit donc (p_i^U, p_i^A) la politique tarifaire d'un Etat, l'instrument de l'expression de sa souveraineté. Nous supposons que chaque Etat est libre de mener, de façon tout à fait *souveraine*, sa politique nationale en matière de gestion de l'eau. Il a plein pouvoir dans l'exercice de ses prix (p_i^U, p_i^A) .

Autrement dit, chaque Etat conserve la possibilité de pratiquer une tarification avantageuse pour une certaine catégorie de consommateurs. En définitive, il peut allouer les ressources en eau comme bon lui semble entre les différentes catégories de consommateurs, et les instruments de cette allocation sont les prix.

Une telle politique menée à l'échelle nationale va déterminer le poids θ_i accordé à la consommation du BPI, et *in fine*, le niveau y_i de la demande optimale de BPI. Par conséquent, toute modification de la tarification favorable à un secteur particulier ou à une catégorie d'agents particuliers, a pour conséquence un accroissement de la demande nationale en eau et donc une augmentation de la demande y_i du BPI.

Nous proposons la définition suivante de l'a souveraineté.

DEFINITION 6.1 : SOUVERAINETE

Un Etat est considéré comme souverain quant à sa politique nationale de gestion de l'eau, lorsqu'il assume l'entière responsabilité de celle-ci en termes de coût. Autrement dit, en termes d'externalités, lorsque toute politique nationale conduisant à un accroissement de la demande en eau (baisse des prix nationaux), et donc de la demande de BPI, ne génère aucune externalité négative pour l'autre Etat.

2.4 - Le jeu :

Soit $N = \{P, I\}$, les deux Etats qui se partagent le coût de la production du BPI y . Chaque Etat possède l'information sur ses préférences, mais ne connaît pas les préférences de l'autre. Ces caractéristiques ne sont pas non plus connues par l'AIE. Cette dernière, dont la gestion est confiée à une équipe de représentants des deux Etats, doit consulter les Etats. Elle devra évaluer le niveau de production de BPI qui devra être produit, ainsi que le coût à allouer à chacun des deux Etats. Nous sommes par conséquent en présence d'une situation caractérisée par une asymétrie d'information entre un principal qui doit déterminer le niveau de production du BPI ainsi que la demande de chaque Etat afin de lui allouer un coût, et des Etats qui sont susceptibles de manipuler l'information en leur possession dans l'espoir de réduire leurs participations au financement du bien public.

Le mécanisme de partage de coût décrit ci-dessous est une application qui associe à chaque fonction de coût C , et à chaque vecteur de demande $Y = \{y_p, y_I\} \in \mathbb{R}_+^2$, un vecteur de *cost share* $\{x_p, x_I\} \in \mathbb{R}_+^2$, telle que :

$$x_i = \xi_i(C, Y) \quad \text{et} \quad \sum_i x_i = C(\max_i y_i).$$

Ce mécanisme ξ de partage de coût, associé au profil d'utilité $\{u_p, u_I\}$ des Etats définit un jeu $G(\xi; C; u_p, u_I)$ telle que la stratégie de chaque Etat consiste à déterminer le niveau y_i de la demande de bien public qu'il va annoncer à l'institution internationale, étant donné la fonction de coût C et la règle de partage de coût. Cette stratégie est le résultat de

la maximisation de sa fonction d'utilité (6.7), sous la contrainte de la règle de partage de coût sérielle exprimée par la formule suivante :

$$x_i = \frac{c(y_i)}{n-i+1} - \sum_{j=i-1}^1 \frac{c(y_j)}{(n-j+1)(n-j)} \quad (6.11)$$

Notons que par construction de la formule sérielle, la règle de partage de coût sérielle est non décroissante en i (cf. chapitre 4).

L'AIE reçoit les demandes des Etats, les classe dans l'ordre croissant et produit le niveau de la demande de BPI le plus élevée, i.e. $\max_i y_i$. Ce jeu correspond au mécanisme sériel de partage de coût.

Rappelons qu'il existe une possibilité d'exclusion partielle de l'usage du BPI y , de telle sorte que I et P consomment simultanément le même bien mais en quantités différentes. L'Etat i ayant payé x_i pour la consommation de y_i peut être exclu de la consommation des niveaux $y_j > y_i$.

Le jeu se déroule en autant d'étapes qu'il existe de niveaux de demandes y_i . Dans la mesure où nous sommes en présence de deux agents, il ne peut y avoir au maximum que deux étapes.

2.4.1 - Première étape : détermination du niveau d'utilité d'unanimité

Chaque Etat détermine la valeur de sa stratégie, i.e. le niveau de sa demande d'unanimité de BPI, en maximisant sa fonction d'utilité sous contrainte de partage égalitaire $\frac{1}{n}c(y)$ du coût de production du BPI.

Utilité d'unanimité

Dans un problème d'offre de bien collectif $(u_1, \dots, u_n; c)$ le niveau d'utilité d'unanimité d'un agent i est défini par :

$$una(u_i, n) = \max_{y_i} u_i \left(y_i, \frac{c(y)}{n} \right), y_i \geq 0. \quad [\text{MOULIN 1992}]$$

Dans la mesure où l'Etat anticipe le coût le plus élevé, cette stratégie du Maximin lui garantit le niveau d'utilité minimum le plus élevé.

Le programme de chaque Etat s'écrit :

$$\begin{aligned} \max_{y_i > 0} \left\{ u_i(x_i, y_i) = \left(\frac{a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}{b_i d_i} \right) y_i - x_i \right\} \\ S/C \quad x_i = \frac{c(y_i)}{2} \end{aligned} \quad (6.12)$$

La résolution de ce programme permet déterminer le niveau de la demande d'unanimité $\tilde{y}_i$ de l'Etat i :

$$\tilde{y}_i = e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{2\theta_i}{\beta}\right)}{(\beta-1)} \right)} \quad (6.13)$$

et le coût $\tilde{x}_i$ alloué à ce niveau de la demande est :

$$\tilde{x}_i = \frac{1}{2} \left(e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{2\theta_i}{\beta}\right)}{(\beta-1)} \right)} \right)^\beta \quad (6.14).$$

Nous envisageons deux cas de figure. Dans le premier cas, les deux Etats sont identiques, i.e. ils ont les mêmes préférences pour le BPI. Dans ce cas, le jeu s'arrête à cette étape. Dans le second cas, nous supposons que $\theta_p < \theta_I$. Les préférences de I, supérieures à celles de P, le conduisent à demander une quantité de BPI supérieure à celle de son partenaire, et auquel cas le jeu se poursuit et la seconde étape correspond à l'ultime étape du jeu.

Cas 1 : $\theta_p = \theta_I$

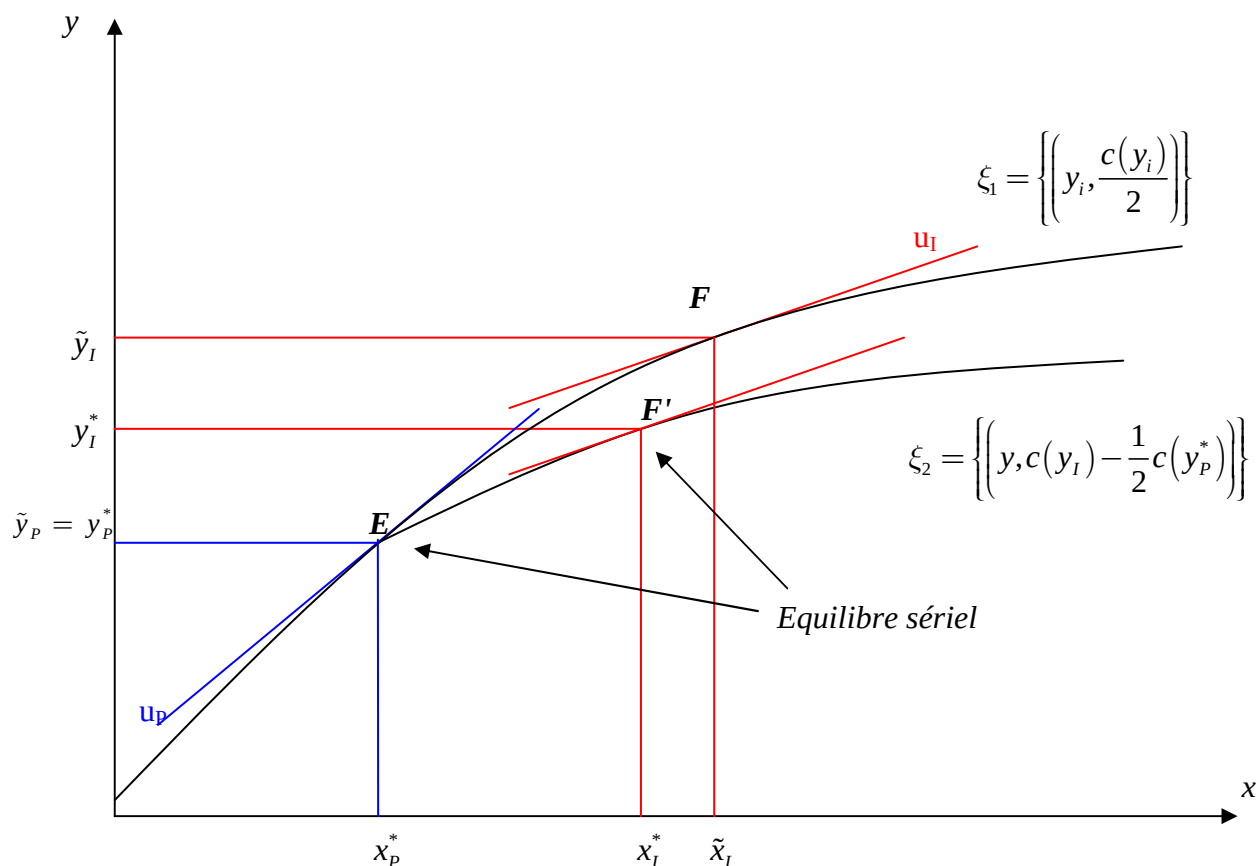
Dans le cas où les deux Etats posséderaient les mêmes caractéristiques, i.e. $\theta_I = \theta_p$, alors $\tilde{y}_p = \tilde{y}_I$, et le couple de stratégies $(\tilde{y}_p, \tilde{y}_I)$ est un équilibre de Nash parétien.

En effet, l'annonce de la vérité constitue pour chaque Etat une stratégie dominante. Si l'Etat i annonçait une demande $\hat{y}_i < \tilde{y}_i$, le BPI étant partiellement excluable, i ne pourrait consommer que la quantité qu'il aurait demandé, à savoir $\hat{y}_i$. Or, par définition même de la solution (6.13), la consommation de la quantité $\hat{y}_i$ de BPI réduit son utilité, et par conséquent cette stratégie ne correspond donc pas à une stratégie optimale. Le niveau de BPI $y_p^* = y_I^* = y^*$ est par conséquent efficace, et le partage égalitaire du coût de production du BPI garanti l'équilibre budgétaire, $\sum_i x_i = c(y^*)$.

Cas 2 : $\theta_p < \theta_I$

Dans ce deuxième cas de figure, d'après (6.13), nous aurons $\tilde{y}_p < \tilde{y}_I$, c'est-à-dire que la demande d'unanimité de l'Etat I est supérieure à celle de l'Etat P.

Graphiquement (6.3), au cours de cette première étape du jeu, la courbe d'indifférence de chaque Etat est tangente à celle des allocations d'unanimité $\xi_i = \left\{ \left(y_i, \frac{c(y_i)}{2} \right) \right\}$. Le point **E** constitue l'équilibre stratégique de P, et le point **F** celui de I.

Figure 6.3 : Demandes d'unanimité et équilibre sériel

Avant de passer à la seconde étape du jeu, nous étudions les caractéristiques des Etats qui les incitent à formuler une demande de BPI plus ou moins élevée. En d'autres termes, nous étudions la sensibilité de la demande de BPI.

2.4.1.1 - Sensibilité de la demande de BPI

La sensibilité de la demande de BPI et celle de l'allocation de coût qui en résulte est, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, fonction de deux catégories de paramètres. Les paramètres structurels inhérents à chaque Etat et sur lesquels ce dernier n'a pas contrôle direct, et les paramètres de régulation, les prix (p_i^U, p_i^A) dont les Etats sont supposés avoir la maîtrise. Ces deux catégories de paramètres vont déterminer le poids relatif du secteur agricole dans la détermination de la quantité de BPI demandée par chaque Etat.

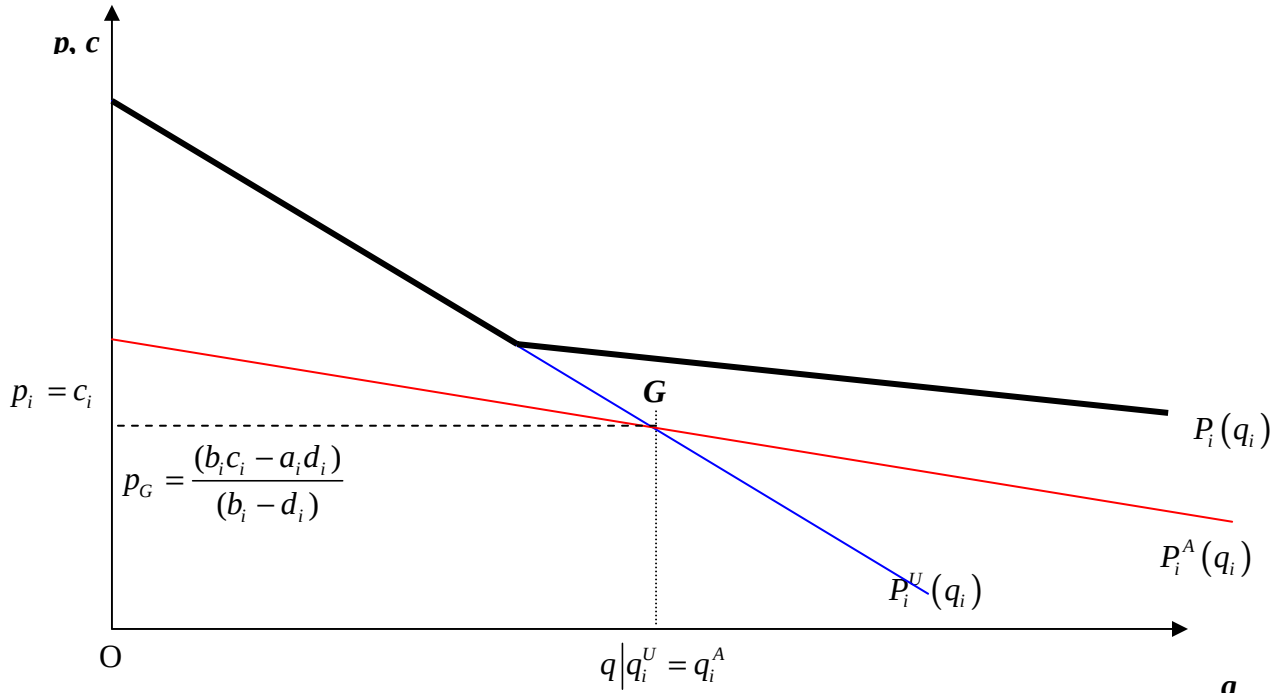
i – Les paramètres structurels

Ces derniers sont caractérisés par les variables a , b , c et d de la demande agrégée en eau et donc du type $\theta_i = \frac{a_i - p_i^U}{b_i} + \frac{c_i - p_i^A}{d_i}$. Ces paramètres déterminent le poids de chacun des deux secteurs, urbain et agricole, dans la détermination de l'équilibre stratégique de l'Etat joueur.

Sur le graphique 6.4 suivant, le point G correspond au point où la demande urbaine est égale à la demande agricole. Autrement dit G est le point où, à tarification unique $p_G = \frac{(b_i c_i - a_i d_i)}{(b_i - d_i)}$ (cf. Annexes), le poids du secteur agricole est égal à celui du secteur urbain. A prix constants, et toutes choses égales par ailleurs, le secteur agricole est d'autant plus consommateur de ressources en eau que la demande est élastique. En effet, une plus faible élasticité de la demande s'exprimerait par une valeur plus élevée de la variable d_i , et donc de la pente de la fonction de demande $\frac{1}{d_i}$. Sur le graphique 6.4, la droite de la demande se rapprocherait de l'horizontal. A p_G constant, la demande en eau agricole serait supérieure à celle de la demande en eau urbaine.

Nous avons donc une corrélation positive entre l'élasticité-prix de l'eau et le poids du secteur.

Figure 6.4 : Tarification et poids des secteurs agricoles et urbains dans la demande de BPI



ii – Les paramètres politiques

La sensibilité de la demande de BPI à une variation de la politique de régulation se mesure par les expressions suivantes :

$$\text{Par rapport à } p_i^U / \frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{1}{b_i} \frac{\tilde{y}_i}{\theta_i (\beta - 1)} < 0 \quad (6.15)$$

$$\text{Par rapport à } p_i^A / \frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{1}{d_i} \frac{\tilde{y}_i}{\theta_i (\beta - 1)} < 0 .$$

Ces expressions strictement négatives, illustrent la corrélation monotone inverse entre la variation du prix national de l'eau et la demande de BPI. $\tilde{y}_i$ est une fonction décroissante de la politique hydrique nationale. Toute réduction du prix de l'eau accordée à une catégorie d'utilisateurs a pour conséquence un accroissement de la demande de BPI. *Vice versa*, tout accroissement du prix de l'eau facturé à une catégorie d'utilisateurs se traduit par une réduction de la demande de BPI.

Le poids exercé par le secteur agricole est donc fonction de la tarification pratiquée par l'Etat. Une tarification (unique) inférieure à p_G , confère au secteur agricole un poids plus important que celui du secteur urbain dans la détermination du niveau de BPI, tandis qu'une tarification supérieure à p_G confère au secteur urbain un poids plus important.

2.4.1.2 - Allocation du coût du BPI et politique de régulation

$$\frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{1}{b_i} \frac{\beta \tilde{x}_i}{\theta_i (\beta - 1)} < 0 \quad (6.16)$$

$$\frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{1}{d_i} \frac{\beta \tilde{x}_i}{\theta_i (\beta - 1)} < 0 \quad (6.17)$$

Ces deux expressions sont également monotones et strictement négatives. Le coût alloué est, par conséquent, inversement proportionnel à la politique hydrique nationale. Toute politique tarifaire ayant pour conséquence un accroissement du niveau de la production du bien public conduit à un accroissement de l'allocation de coût à l'Etat i . Cet accroissement de l'allocation de coût est d'autant plus important que la pente de la droite de la demande en eau $-\frac{1}{b_i}$ ou $-\frac{1}{d_i}$ est importante, et donc que la demande en eau est élastique au prix. Une faible élasticité-prix entraîne une faible variation du coût et inversement, une forte élasticité-prix entraîne une forte variation du coût.

2.4.2 - Deuxième étape du jeu

A l'issue de la première étape du jeu, les demandes sont classées dans l'ordre croissant $\tilde{y}_P < \tilde{y}_I$. La stratégie de P, celle correspondant à la plus faible demande d'unanimité, est une stratégie optimale et son allocation de coût est de $x_P^* = \frac{c(y_P^*)}{2}$. P ne peut pas voir accroître son utilité, puisque cette stratégie correspond à la solution de son programme au cours de la première étape du jeu, et l'on notera (x_P^*, y_P^*) le panier de consommation de P correspondant à sa stratégie optimale.

En revanche, I ayant formulé une demande de BPI supérieure à celle de P, va reconsidérer sa stratégie à l'aune du coût incrémental qui incombe à sa demande $\tilde{y}_I$. Lors de cette deuxième étape, le coût alloué à I comporte deux parts. La première part est fixe,

elle est égale au partage égalitaire du coût de la production du niveau y_p^* de BPI, i.e. $\frac{c(y_p^*)}{2}$, à laquelle s'ajoute la deuxième part correspondant au coût incrémental de la production de la quantité $(\tilde{y}_I - y_p^*)$ de BPI. I doit donc prendre en charge la totalité de la production supplémentaire, au-delà du niveau y_p^* , nécessaire à la satisfaction de ses préférences. C'est ainsi que I détermine sa stratégie optimale.

Le programme de l'Etat I à la deuxième étape du jeu est :

$$\begin{aligned} \max_{y_I} \left\{ u_I(x_I, y_I) = \left(\frac{a_I d_I - d_I p_I^U + b_I c_I - b_I p_I^A}{b_I d_I} \right) y_I - x_I \right\} \\ S / C \quad \begin{cases} x_I = c(y_I) - \frac{c(y_p^*)}{2} \\ y_I > y_p^* \end{cases} \end{aligned} \quad (6.18)$$

Les solutions issues des conditions de premier ordre, $y_I^* / \frac{\partial u_I}{\partial y_I} = 0$, sont :

$$y_I^* = e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{\theta_I}{\beta}\right)}{(\beta-1)} \right)} \quad x_I^* = (y_I^*)^\beta - \frac{1}{2}(y_p^*)^\beta \quad (6.19)$$

La stratégie y_I^* constitue la meilleure réponse de I à la règle de partage de coût sérielle. Sur le graphique 6.3, cette allocation correspond au point F' , lieu où la courbe d'indifférence de I est tangente à la courbe des allocations d'unanimité de niveau 2,

$$\xi_2 = \left\{ \left(y, c(y) - \frac{c(y_p^*)}{2} \right) \right\}.$$

Le coût alloué à chaque Etat est indépendant des demandes qui lui sont supérieures. La stratégie de I n'ayant aucune incidence sur l'allocation de P, ce dernier ne modifie pas la sienne.

Au terme de cette deuxième étape du jeu, y_p^* et y_I^* sont respectivement les meilleures réponses de P et de I à la règle de partage de coût sériel. Le couple (y_p^*, y_I^*) est donc un équilibre de Nash.

EQUILIBRE DE NASH FORT: (au sens de Aumann [1959])

Un équilibre de Nash fort d'un jeu est un profil de stratégies $\{y_1, \dots, y_n\}$ telle qu'aucune coalition déviante T ne peut améliorer le bien-être d'un de ses membres sans réduire celui d'un autre membre de T , en supposant que les stratégies des $N \setminus T$ restent inchangées.

Dans ce jeu à trois joueurs, il n'y a que trois coalitions non vides. Les deux singletons et la coalition constituée des deux joueurs. Considérons les trois coalitions non vides possibles.

1 – La stratégie de P est un équilibre de Nash résultat de son programme, aucune amélioration de son sort n'est possible pour une déviation unilatérale, en supposant la stratégie de I inchangée.

2 – De même, la stratégie de I est un équilibre de Nash résultat de son programme, aucune amélioration de son sort n'est possible pour une déviation unilatérale, en supposant la stratégie de P inchangée.

3 – Considérons la coalition formée des deux joueurs I et P, et supposons que les deux agents s'entendent dans l'objectif de manipuler le mécanisme en annonçant chacun une stratégie qui ne corresponde pas à la vérité. Eliminons dans un premier temps tout couple de stratégie $(\hat{y}_P, \hat{y}_I)$ tel que $(\hat{y}_P > y_P^* \text{ et } \hat{y}_I > y_I^*)$ ou alors $(\hat{y}_P < y_P^* \text{ et } \hat{y}_I < y_I^*)$ qui conduirait systématiquement à une réduction du niveau d'utilité totale.

a - Supposons que I annonce une stratégie $\hat{y}_I \neq y_I^*$, celle-ci n'a aucune incidence sur le bien-être de P puisque $\partial u_P^* / \partial y_I = 0$ et n'améliorerait pas le sort de I.

b - Supposons à présent que P annonce une stratégie $\hat{y}_P \neq y_P^*$. Deux cas de figure se présentent :

i - $\hat{y}_P < y_P^*$ conduit à une réduction de son niveau de bien-être ainsi que celle de I puisque $\partial u_I^* / \partial y_P > 0$. En effet, la fonction de coût sérielle à la seconde étape de jeu se trouve modifiée de la façon suivante : une réduction de la composante fixe $c(y_P^*)/2$ imposant à I un coût incrémental plus élevé.

ii - une annonce $\hat{y}_P > y_P^*$ conduirait à un accroissement du bien-être de I mais réduirait celui de P.

Les deux joueurs ne disposent par conséquent pas d'un couple de message (y_P, y_I) qui soit pareto-supérieur à l'équilibre sériel (y_P^*, y_I^*) . Ce dernier est un équilibre de Nash fort défini par induction. Il est en outre pareto-supérieur à tout autre équilibre de Nash.

2.4.3 - Résultats et discussion de trois scénarii

A partir de cet équilibre du jeu, nous étudions trois scénarii en statique comparative.

Dans les deux premiers scénarii, nous supposons que le stock R_i de bien numéraire détenu par chaque Etat est supérieur à l'allocation de coût x_i d'un Etat. L'objet de ces scénarii est de rendre compte des déplacements de l'équilibre sériel consécutifs à une modification de la politique tarifaire d'un Etat. Notons toutefois qu'en l'absence de contrainte, hormis celle de la règle de partage de coût, dans le programme des agents, chaque Etat maximiserait son utilité pour le BPI en fixant des prix nuls aux deux catégories de consommateurs. Si d'un point de vue économique ce cas extrême ne se justifie pas, d'un point de vue uniquement technique il reste réalisable. En effet, la définition que nous avons donné du BPI ci-dessus, à savoir que celui-ci tient compte de la recherche de nouvelles sources d'approvisionnement (dessalement de l'eau de mer par exemple), nous permet d'envisager ce cas extrême techniquement possible. Rappelons que dans le cadre de notre modèle en coopération, la contrainte n'est plus une contrainte physique sur les quantités d'eau disponibles, mais une contrainte de coût. Les deux Etats peuvent disposer d'une quantité d'eau sans limite, à condition toutefois qu'ils soient disposés à payer le prix.

Autrement dit, notre formalisation met en exergue les deux véritables facteurs déterminant la politique de gestion des ressources en eau d'un Etat, i.e ; la volonté politique qui détermine la disposition à payer la ressource, et la richesse.

La première exigence, celle du choix politique est déterminé par la volonté politique ou la priorité politique accordée à la satisfaction des besoins des consommateurs. En effet, en supposant que R_i soit la richesse totale d'un Etat, la priorité politique, au sens de l'importance politique, accordée à la consommation de l'eau par une catégorie de consommateurs, sera fonction de la plus ou moins grande proportion de cette richesse consacrée, en termes d'allocation de coût $x_i = \alpha R_i$, à la consommation du BPI. On pourrait supposer qu'un Etat rechercherait l'équilibre budgétaire entre les recettes de la vente de l'eau aux différents consommateurs, et l'allocation de coût du BPI. Mais cette hypothèse n'est pas vérifiée dans la réalité. L'Etat d'Israël, tel que nous l'avons montré dans le premier chapitre, ne recherche ni l'équilibre budgétaire, ni une allocation efficace des ressources en eau. Les subventions accordées aux consommateurs du secteur agricole sont

à l'origine d'une perte de bien-être. Ce choix correspond bien à un choix politique, une priorité politique accordée au soutien du secteur agricole.

Le second facteur est la richesse elle-même. Si un Etat est pauvre il est incapable de financer la partie de la production de BPI nécessaire à la satisfaction de ses besoins. Formellement, sa demande de BPI se heurte à sa contrainte de richesse.

Quoi qu'il en soit, dans les deux premiers scénarii, ces facteurs ne constituent pas des limites. Le premier scénario décrit les conséquences d'un soutien accordé par P à une catégorie de consommateurs, les agriculteurs. Le deuxième scénario évalue les impacts d'un même soutien, mais de la part I.

Le troisième scénario est un complément aux deux précédents. En effet, après avoir montré le déplacement de l'équilibre sériel et les enjeux en termes de partage de coût, nous supposons que les Etats sont contraints par la fixité de leur allocation de coût. Comme nous l'avons fait remarquer ci-dessus, cette borne peut correspondre à l'équilibre budgétaire entre les recettes de la vente de l'eau et le coût alloué à la production du BPI, $x_i = p_i^U q_i^U + p_i^A q_i^A$. Mais, comme nous l'avons montré dans le chapitre 1, la recherche de l'efficacité parétienne ou de l'équilibre budgétaire ne constitue pas le fondement des motivations d'un Etat pour la gestion de ses ressources en eau. C'est la raison pour laquelle nous ne nous arrêtons pas sur la définition de cette borne. Celle-ci peut être d'origine politique, un Etat se fixe un budget pour la gestion de ses ressources en eau, ou alors la limite est tout simplement celle de la richesse. Dans ces conditions, nous étudions les marges de manœuvre dont disposent les Etats pour leur politique de régulation.

2.4.3.1. - Premier scénario : $x_i < R_i$

réduction du prix de l'eau en P, et déplacement de son équilibre stratégique

i - Politique nationale, allocation de coût et déplacement de l'équilibre de P

Supposons que P décide de réduire le prix de l'eau aux agriculteurs. Cette réduction du prix national de l'eau conduit à un accroissement de l'allocation de coût mesuré par l'expression (6.17) et qui peut être réécrite de la façon suivante (cf. Annexe B) :

$$\frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^A} = - \frac{(y_p^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{d_p \theta_p} \quad (6.20).$$

Hormis le signe négatif qui exprime la corrélation inverse entre le prix de l'eau et la variation de l'allocation de coût, cette expression se décompose en deux parties qui indiquent le chemin et la vitesse de déplacement de l'équilibre stratégique de P.

La première $\frac{(y_p^*)^\beta}{2} = \frac{c(y_p^*)}{2}$, indique le chemin des allocations réalisables de P. Ce

chemin correspond à la courbe des allocations d'unanimité de niveau 1 $\xi_1 = \left(y, \frac{c(y)}{2} \right)$, et

ce tant que y_p^* reste inférieur à y_I^* . Le déplacement de l'équilibre de P se fait donc le long de cette courbe, du point *E* au point *F* sur le graphique 6.4. Ce sentier de déplacement exprime le fait que le coût incrémental de tout accroissement de la demande de BPI par P, est, à moitié, pris en charge par I. Pour toute demande supplémentaire, P bénéficie donc de l'externalité positive de la présence de I sur une section de production du BPI. Cette situation est assimilable à celle de l'entrée d'un agent supplémentaire dans la production d'un bien public.

La deuxième composante de l'expression (6.20), à savoir $\frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{d_p \theta_p}$ exprime la vitesse de déplacement de l'équilibre. Celle-ci est fonction d'une part, de la courbure de la fonction de coût $\frac{\beta}{(\beta-1)}$, une forte convexité entraîne un déplacement rapide et inversement ; et, d'autre part, de la pente de la demande en eau agricole $\frac{1}{d_p}$.

L'expression (6.17) permet également d'exprimer en terme d'élasticité la variation de x_p^* par rapport à p_i^A : $e_{x_p^* / p_i^A} = \frac{\beta}{(\beta-1)} e_{q_p^A / p_p^A}$ (cf Annexe B). Autrement dit, l'élasticité de l'allocation de coût x_p^* par rapport à la tarification nationale est proportionnelle à l'élasticité-prix de la demande d'eau.

De façon identique, les conséquences d'une variation de la tarification de l'eau aux consommateurs urbains s'expriment par les deux expressions suivantes :

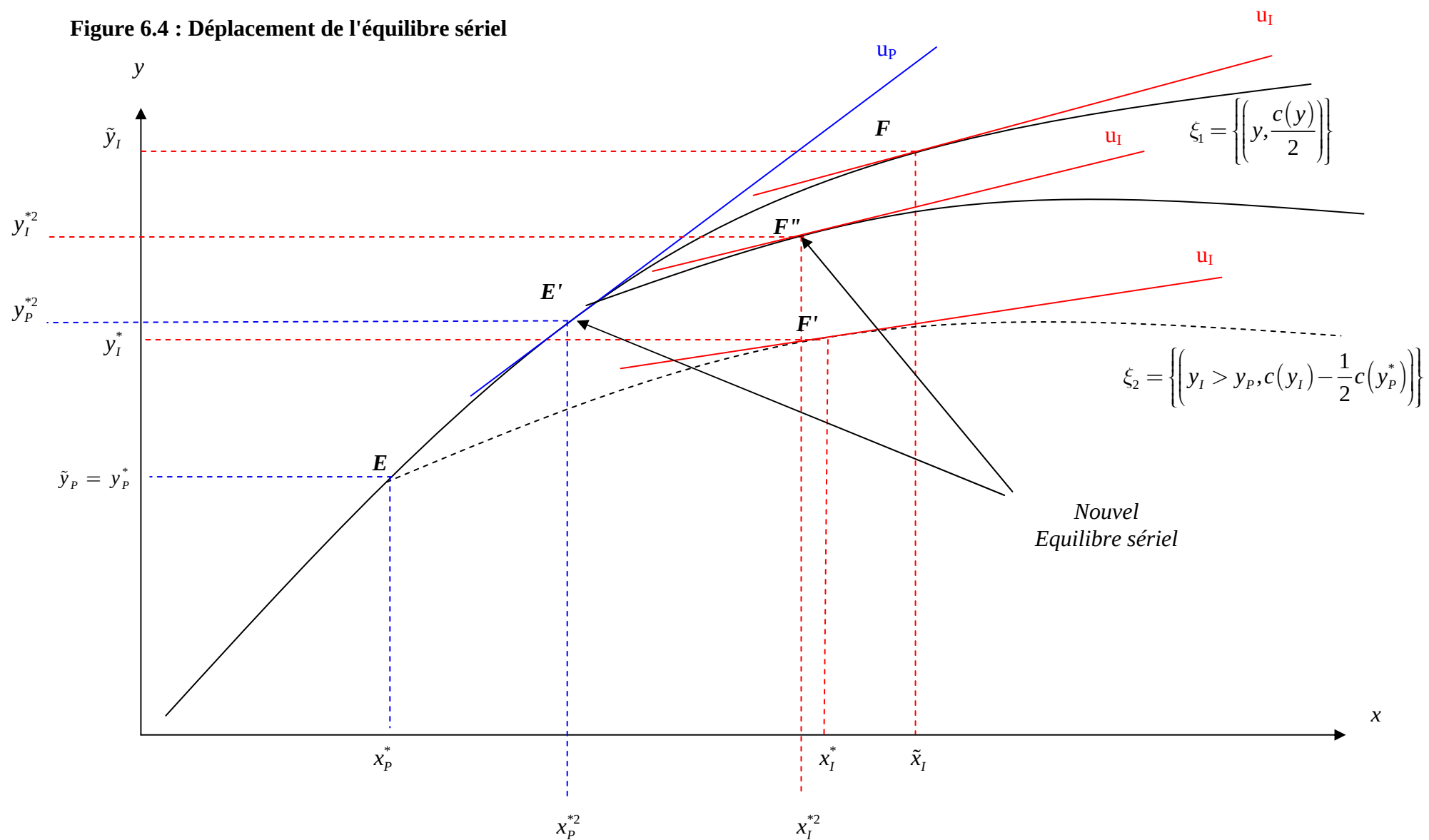
$$\frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^U} = - \frac{(y_p^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{b_p \theta_p} \quad (6.21)$$

$$e_{x_p^* / p_p^U} = \frac{\beta}{(\beta - 1)} e_{q_p^U / p_p^U}.$$

Dans la mesure où $\frac{1}{b_i} < \frac{1}{d_i}$, le coût pour une nation, d'une réduction marginale du prix de l'eau payé par les usagers agricoles, coût donné par l'expression (6.20), est supérieure au coût d'une réduction marginale du prix de l'eau payé par les usagers urbains (6.21).

Sur le graphique 6.4 ci-dessous, l'équilibre de P se déplace le long de la courbe d'unanimité ξ_1 du point E vers le point E' , nouvel équilibre stratégique de coordonnées (x_p^{*2}, y_p^{*2}) . Ce déplacement s'interprète par le fait que P, par rapport à la situation *ex-ante*, participe au financement, à part égale avec I, du coût de la production de $(y_p^{*2} - y_p^*)$. Le long de ce déplacement les deux Etats bénéficient d'externalités de production positives, comme nous le verrons à la réaction de I.

Figure 6.4 : Déplacement de l'équilibre sériel



ii - Réaction de I et déplacement de son équilibre

Les répercussions de la politique nationale de P sur le coût alloué à I se mesurent par l'expression suivante (cf. annexe B) :

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_P^A} = \frac{(y_P^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{d_P \theta_P} \quad (6.22).$$

A la différence de l'expression (6.20), celle-ci est strictement positive. En d'autres termes, une réduction de prix accordée par P à une catégorie de consommateurs (en l'occurrence les agriculteurs), contribuant à l'accroissement de la demande de BPI par P, participe à la réduction du coût alloué à I, et *in fine* à un accroissement de son utilité. Cette réduction de coût alloué à I est égale à l'accroissement de coût de P. Ce montant correspond à la prise en charge par P d'une partie du coût incrémental de la demande de I qui, *ex-ante*, était supérieure à celle de P, i.e. une partie $(y_P^{*2} - y_P^*)$, du coût incrémental de la production de $(y_I^* - y_P^*)$. L'entrée de P sur la section de la production de BPI comprise entre **E** et **E'**, c'est-à-dire entre y_P^* et y_P^{*2} , est génératrice d'une externalité de production positive. Cette demande supplémentaire de la part de P l'oblige à participer au financement de cette partie de la production.

L'expression de la sensibilité de x_I^* par rapport à p_P^U est donnée par l'expression suivante :

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_P^U} = \frac{(y_P^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{b_P \theta_P} \quad (6.23),$$

et $\frac{\partial x_I^*}{\partial p_P^A} > \frac{\partial x_I^*}{\partial p_P^U}$.

La réponse de I à cette modification de la stratégie de P est issue du calcul du programme (6.18) de I, i.e. le programme de la seconde étape du jeu. Du point **F** de coordonnées $(\tilde{x}_I, \tilde{y}_I)$ qui constitue sa stratégie d'unanimité à la première étape, il passe au point **F''** de coordonnées (x_I^{*2}, y_I^{*2}) sur la nouvelle courbe ξ_2 (en pointillé).

L'expression $\frac{(y_P^*)^\beta}{2}$ de l'équation (6.22), indique le déplacement, non pas de l'équilibre de I, mais de la "branche" ξ_2 le long de l'axe qui la porte ξ_1 .

Par conséquent, le sentier d'expansion de I est identique à celui de P, tant que $\theta_I = \theta_P$, i.e. **OE'**, lorsque $\theta_I > \theta_P$ le chemin de l'équilibre de I prend une autre courbe,

$$\text{celle de } \xi_2 = \left\{ \left(y_I > y_P, c(y_I) - \frac{c(y_P^*)}{2} \right) \right\}.$$

iii - Proposition 1:

Deux Etats I et P participent à la production d'un BPI, telle que décrit ci-dessus. Le partage du coût de production se fait selon la formule sérielle (6.13). Si l'Etat P, dont la demande de BPI est inférieure à celle de I, modifie ses prix nationaux dans le sens d'un soutien à une catégorie de consommateurs, les résultats d'une telle politique sont les suivants :

- i – l'Etat P assume la responsabilité de sa politique par la prise en charge de l'externalité que sa politique engendre.
- ii – La réduction du prix de l'eau par P est génératrice d'externalités positives correspondant à une réduction du coût alloué à I. En effet, l'Etat P participe avec I au financement d'une partie de son coût incrémental *ex-ante*, à savoir la moitié du coût de production de la quantité $(y_P^{*2} - y_P^*)$ de BPI.

Dans la mesure où,

- 1 - le mécanisme sériel est un mécanisme incitatif révélateur excluant le phénomène de passager clandestin, P est contraint d'internaliser le coût de sa politique nationale, il est comptable de ses préférences, et
- 2 - que le niveau de BPI qu'il souhaite consommer ne lui est pas imposé. Il est par conséquent souverain de sa politique de régulation de l'eau à l'échelle nationale.

2.4.3.2 - Deuxième scénario, $x_i < R_i$, I baisse le prix de l'eau à ses consommateurs

i - Politique nationale de régulation de I, allocation de coût et déplacement de l'équilibre

I entreprend une politique tarifaire de soutien du prix de l'eau à l'agriculture. Cette politique participe à l'accroissement des préférences de I pour le BPI. Le coût pour I de cette politique se mesure par l'expression suivante :

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} = - (y_I^*)^\beta \frac{\beta}{(\beta - 1)} \frac{1}{d_I \theta_I} \quad (6.24)$$

Le signe négatif de cette relation exprime la relation inverse entre la réduction du prix national de l'eau payé par les agriculteurs et l'allocation de coût du BPI. En outre, l'expression (6.24) se décompose en deux parties. D'une part, I prend en charge la totalité du coût incrémental $(y_I^*)^\beta = c(y_I^*)$ de la production supplémentaire engendrée par sa politique, et, d'autre part, cette variation de coût est d'autant plus importante que la demande en eau agricole est élastique au prix, puisque $e_{x_I^* / p_I^A} = \frac{\beta}{(\beta-1)} (e_{Q_I / p_I^A}) \left(1 + \frac{x_P^*}{x_I^*} \right)$ (cf.annexes). Au-delà de y_P^* , la trajectoire des allocations réalisables de I correspond à la courbe des allocations ξ_2 . Pour un soutien du prix de l'eau à la consommation urbaine, le déplacement a lieu sur la même courbe, $\frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^U} = -(y_I^*)^\beta \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{b_I \theta_I}$ mais à une allure plus modérée puisque $\frac{1}{b_I} < \frac{1}{d_I}$.

ii - Politique de régulation de I et réaction de P

Cette politique tarifaire menée par I n'a aucune incidence sur la stratégie de P, puisque en effet, $\frac{\partial x_P^*}{\partial p_I^U} = 0$ et $\frac{\partial x_P^*}{\partial p_I^A} = 0$. I assume l'entière responsabilité de sa politique en prenant en charge la totalité du coût incrémental du BPI. Il n'y a donc ni externalités positives ni externalités négatives. L'Etat P ne souffre pas, et ne tire aucun profit de la politique menée par son partenaire à la production du BPI. La souveraineté de I est garantie par cette absence d'externalité négative sur le bien-être de P.

iii - Proposition 2

Soit deux Etats I et P, participants à la production d'un BPI avec une allocation sérielle des coûts. Si l'Etat I, dont la demande de BPI est supérieure à celle de P, procède à une modification de sa politique nationale par un soutien à une catégorie de consommateurs, les résultats d'une telle politique sont les suivants :

- i – l'Etat I assume l'entière responsabilité de sa politique par la prise en charge de la totalité du coût incrémental de la production de BPI que sa politique engendre.
- ii – Cette politique menée par I, n'a aucune conséquence, ni sur la quantité d'eau consommée, ni sur le bien-être de P.

Pour résumer ces deux propositions 1 et 2, nous dirons que la participation à la production d'un BPI ayant pour objet la gestion des ressources en eau à l'échelle de deux territoires de I et de P, garanti la souveraineté des Etats quant à la libre régulation des ressources.

2.4.3.3. - Troisième scénario : Politique tarifaire et allocation de coût constante $x_i = R_i$

La satisfaction d'un des Etats se heurte à une contrainte de revenu. Il ne souhaite pas voir augmenter son allocation de coût, de quelle marge de manœuvre dispose-t-il dans l'allocation de ses ressources en eau ?

Le coût alloué à chaque Etat reste identique lorsque les préférences pour le BPI sont inchangées, i.e. $d\theta_i = 0$. Dans ce cas, chaque Etat devra arbitrer entre le prix de l'eau facturé aux consommateurs agricoles et le prix de l'eau facturé aux usagers urbains. L'expression de cet arbitrage est donnée par la différentielle totale de θ_i par rapport au couple (p_i^U, p_i^A) (cf. annexe B).

$$d\theta_i = \left(\frac{1}{d_i} dp_i^U + \frac{1}{b_i} dp_i^A \right) = 0.$$

Le coût alloué à un Etat reste inchangé, lorsque toute variation du prix de l'eau urbaine dp_i^U est compensée par une variation inverse, moins que proportionnelle, du prix de l'eau à l'agriculture $\frac{d_i}{b_i} dp_i^A$. Inversement, à coût égal, toute réduction du prix de l'eau aux agriculteurs dp_i^A doit être compensée par une augmentation plus que proportionnelle du prix de l'eau aux consommateurs urbains, $\frac{b_i}{d_i} dp_i^A$.

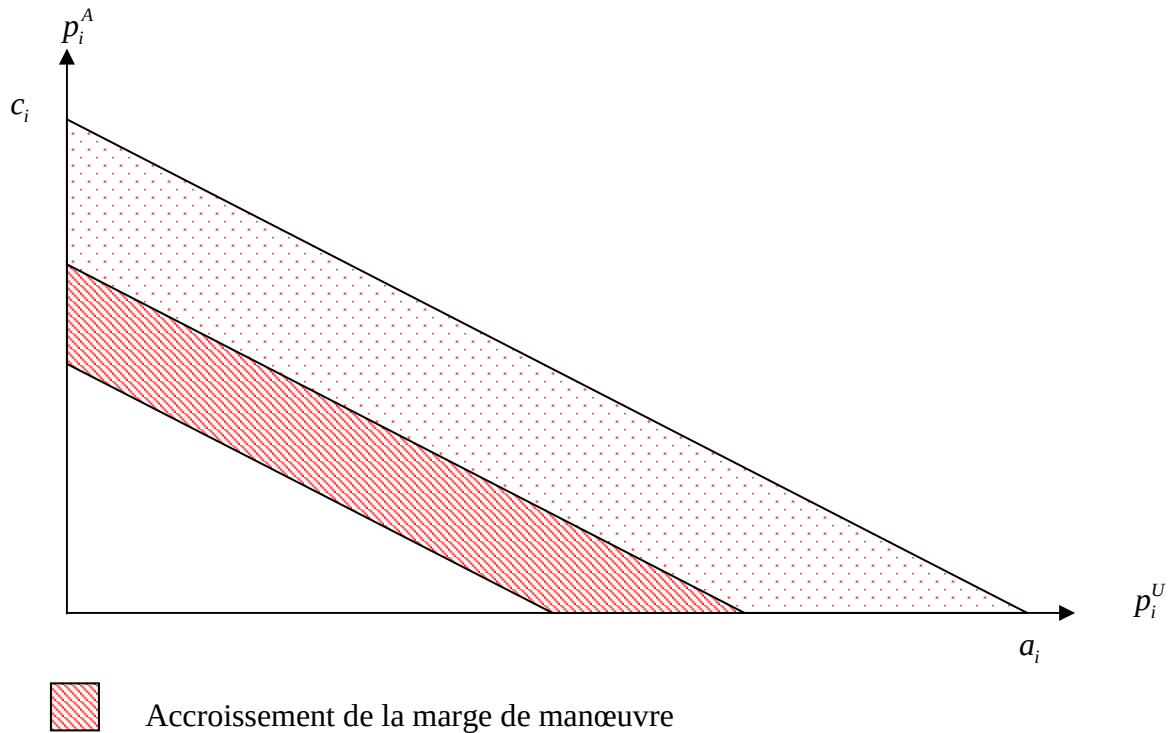
La figure 6.5 suivante illustre cette situation. La marge de manœuvre d'un Etat, en termes de régulation, peut être représentée dans le plan (p_i^U, p_i^A) . La relation fonctionnelle s'obtient à partir de la relation (6.14) ou (6.19), c'est-à-dire de la solution optimale d'un Etat.

Pour l'Etat P, elle correspond à la droite suivante :

$$p_i^A = \frac{1}{2b_i} \left(\left(-\beta b_i d_i + 2a_i d_i e^{\left(\frac{\ln(2) + \ln(x_p^*)(\beta-1)}{\beta} \right)} - 2d_i p_i^U e^{\left(\frac{\ln(2) + \ln(x_p^*)(\beta-1)}{\beta} \right)} + 2b_i c_i e^{\left(\frac{\ln(2) + \ln(x_p^*)(\beta-1)}{\beta} \right)} \right) e^{\left(\frac{\ln(2) + \ln(x_p^*)(\beta-1)}{\beta} \right)} \right)$$

Cette expression exprime la relation entre la politique de régulation (p_i^U, p_i^A) et le budget total affecté à la consommation du BPI x_p^* . Elle fixe une borne inférieure au domaine de variation des prix relatifs de l'eau pratiqués dans les deux secteurs. Ce domaine correspond à la surface située au-dessus de la droite. Un accroissement du budget se traduit par un déplacement de la droite vers le Sud-Ouest. Ce déplacement accroît la marge de manœuvre d'un Etat dans la mesure où il élargit le domaine de variation des prix, en réduisant le plancher des prix relatifs de l'eau facturés aux usagers. Réciproquement, une réduction du budget entraîne un déplacement de la droite vers le Nord-Est, entraînant une élévation du prix minimum facturé aux usagers et un rétrécissement du domaine de variation des prix.

Figure 6.5 : Marge de manœuvre de la politique nationale de régulation de l'eau



Par conséquent, quelle que soit l'origine de la contrainte budgétaire, celle-ci impose une borne inférieure au domaine de variation des prix relatifs de l'eau dans les deux secteurs.

Récapitulatif des résultats

Réduction du prix de l'eau dans P et déplacement de l'équilibre sériel :

$$y_P^* = e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{2\theta_P}{\beta}\right)}{(\beta-1)} \right)} \quad x_P^* = \frac{1}{2} (y_P^*)^\beta,$$

$$\frac{\partial x_P^*}{\partial p_P^U} = -\frac{1}{b_P} \frac{\beta x_P^*}{(\beta-1)} < 0 \quad \frac{\partial x_P^*}{\partial p_P^A} = -\frac{1}{d_P} \frac{\beta x_P^*}{(\beta-1)} < 0,$$

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_P^U} = \frac{1}{b_P} \frac{\beta x_P^*}{(\beta-1)} < 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial x_I^*}{\partial p_P^A} = \frac{1}{b_P} \frac{\beta x_P^*}{(\beta-1)} < 0.$$

Réduction du prix de l'eau dans I et déplacement de l'équilibre sériel :

$$y_I^* = e^{\left(\frac{\ln\left(\frac{\theta_I}{\beta}\right)}{(\beta-1)} \right)}, \quad x_I^* = (y_I^*)^\beta - \frac{1}{2} (y_P^*)^\beta,$$

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^U} = -(y_I^*)^\beta \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{b_I \theta_I}, \quad \frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} = -(y_I^*)^\beta \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{d_I \theta_I},$$

$$\frac{\partial x_P^*}{\partial p_I^U} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{\partial x_P^*}{\partial p_I^A} = 0.$$

2.4.4 - Les propriétés d'équité de l'équilibre sériel

L'étude des externalités générées par les préférences d'un individu sur la position des autres est appréhender à travers la théorie des bornes individuelles au bien-être développée par Moulin [1990, 1991]. La théorie repose sur deux idées. La première est l'idée selon laquelle les individus sont responsables de leurs propres préférences, qu'ils sont comptables de leurs goûts, et la seconde que les poids ou les bénéfices de la vie en communauté doivent être uniformément partagés entre les agents.

Le principe d'équité stipule que le poids ou les bénéfices des externalités, des préférences et de groupe, doivent être uniformément répartis sur tous les individus.

Les axiomes d'uniformités UPE et UGE (cf. chapitre 4) sont considérés comme des tests d'équité susceptibles de guider l'allocation des ressources détenues de façon commune par un groupe d'individus différant uniquement par leurs goûts. Les allocations respectant ces axiomes peuvent être qualifiés d'équitables au sens où, la diversité des préférences exerce la même influence, positive ou négative, sur le bien-être des agents -UPE- et au sens où tous les agents, soit tirent le même bénéfice de la coopération soit fournissent le même effort -UGE. Ces axiomes instaurent une borne inférieure au bien-être (BIBE) et une borne supérieure au bien-être (BSBE) des agents.

Dans notre cadre d'analyse, chaque Etat se voit garantir un niveau minimal de satisfaction, la BIBE, qui ne dépend que de ses propres caractéristiques, ce niveau minimal étant le plus élevé possible. Par le raisonnement dual, chaque individu se voit imposer un niveau maximal de satisfaction, BSBE, qui ne dépend que de ses propres caractéristiques, ce niveau maximal étant placé le bas possible.

2.4.4.1 - Le test du Stand Alone et la BIBE d'un Etat

Le recours au test du Stand Alone dans les modèles de production en coopération, qu'il s'agisse de production de bien privé ou de production de bien public, en présence de coût marginal croissant ou de coût marginal décroissant, n'a pas la même interprétation selon que l'on aborde le problème dans une optique positive ou dans une optique normative.

Dans une démarche positive, l'ensemble des allocations réalisables qui satisfont le test du Stand Alone, correspond à l'ensemble des allocations du cœur (chapitre 4). Si la coopération n'est pas une obligation, comme elle l'est pour la production d'un bien public au coût prohibitif, ou comme elle pourrait également l'être pour le partage d'une technologie à copie unique, autrement dit si la coopération est le résultat d'engagements volontaires des individus, alors ce test est le gage de la stabilité d'une coalition, c'est-à-dire qu'il permet d'éliminer toutes les possibilités d'abandon des engagements conclus entre coalitions.

Dans une optique normative, le test du Stand Alone véhicule le principe d'équité selon lequel, les externalités de la vie en communauté doivent être uniformément réparties entre tous les agents de cette même communauté, qu'il s'agisse d'externalités positives, ou d'externalités négatives comme c'est le cas dans notre modèle. L'axiome d'uniformité des externalités de groupe - UGE, est celui qui instaure, dans le cadre de la production en coopération d'un bien public, une borne inférieure au bien-être des Etats. Celle-ci est

uniquement fonction des caractéristiques de l'Etat, elle est indépendante des caractéristiques et préférences de l'autre Etat. Le niveau de bien-être d'un Etat ne peut être inférieur à cette borne, qui correspond au niveau d'utilité de l'Etat lorsque ce dernier exploite seul, sans entrave, la ressource. En d'autres termes, c'est l'utilité minimale qui doit lui être garantie par la solution. Cette borne inférieure est également qualifiée de borne en libre accès. Autrement dit, le niveau d'utilité du Stand Alone, ou niveau d'utilité en libre accès, correspond à la propriété de rationalité individuelle en autarcie, propriété plus exigeante que la simple rationalité individuelle qui requiert que l'utilité finale d'un agent soit supérieure ou égale à son utilité de départ.

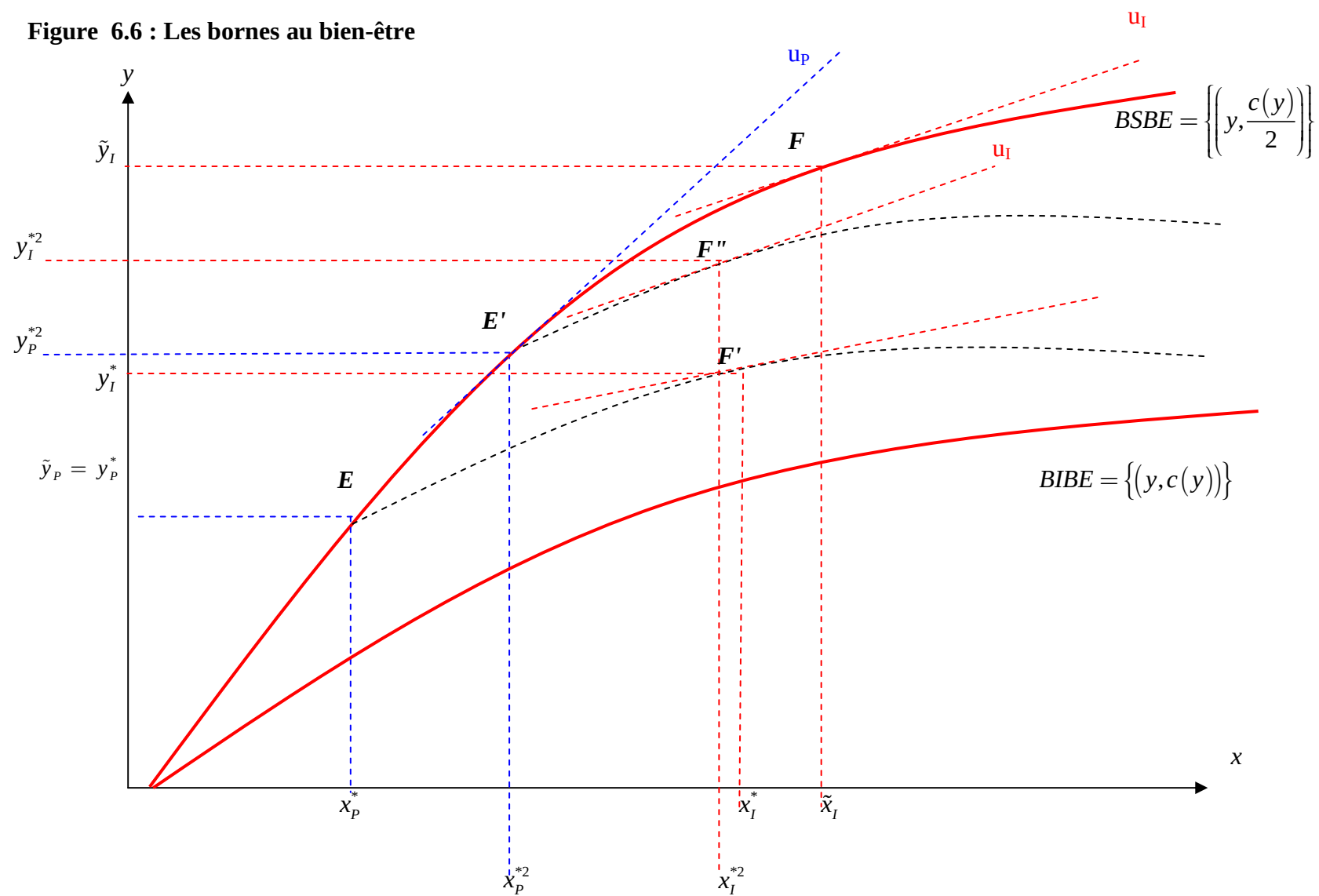
Sur le graphique 6.5 ci-dessous, la borne inférieure au bien-être correspond à la courbe des allocations (x_i, y_i) lorsque l'un des deux Etats est seul à exploiter la ressource, i.e. $(y_i, c(y_i))$. Cette courbe est le lieu des points tangents entre les courbes d'indifférences et la fonction de coût de production du BPI.

Dans notre modèle, le coût alloué à un Etat ne peut être supérieur au coût de fourniture isolé puisque $x_p = \frac{c(y_p)}{2}$ est borné par $x_p = c(y_p)$, et le coût alloué à I $x_I = c(y_I) - \frac{c(y_p)}{2}$ est également borné par $x_I = c(y_I)$. Dans tous les cas de figure, le coût maximum payé par un Etat est le coût de fourniture isolé du niveau de sa demande de BPI. Le déplacement de l'équilibre d'un Etat se situe, soit sur la frontière de la BIBE lorsqu'il est seul, ou alors au-dessus de cette frontière.

La BIBE est la fonction solution du programme suivant :

$$un(u_i, 1) = \max_{y_i} u_i(y_i, c(y_i)), y_i \geq 0.$$

Figure 6.6 : Les bornes au bien-être



2.4.4.2 - La borne d'unanimité, BSBE

Le principe d'équité qui instaure la borne d'unanimité comme BSBE découle de la fiction de sa construction. En effet, chaque Etat se place dans la situation hypothétique où, ignorant les caractéristiques et préférences des autres agents avec lesquels il partage la production, il va supposer que ses rivaux partagent ses préférences. Il les imagine à son image. A partir de là, il accepte, selon la doctrine du traitement égal des égaux, le principe d'un partage égalitaire des ressources.

Dans notre cadre de travail, la borne ainsi construite représente le lieu des allocations telle que les deux Etats se situent dans la situation hypothétique où, partageant les mêmes préférences pour le BPI, ils acceptent le partage égalitaire des coûts de production de ce dernier. La BSBE est celle qui résulte de la solution du programme suivant :

$$una(u_i, n) = \max_{y_i} u_i \left(y_i, \frac{c(y)}{n} \right), y_i \geq 0$$

Sur le graphique 6.5, la courbe des allocations d'unanimité ξ_1 est le lieu des allocations (x_i, y_i) qui constitue la borne supérieure au bien-être d'un Etat. Cette courbe est le lieu où les courbes d'indifférence sont tangentes à la courbe de partage égalitaire du coût de production du BPI $\frac{c(y_i)}{2}$, solution de la première étape du jeu. Lorsque les préférences des Etats diffèrent, le déplacement de l'équilibre de l'Etat qui exprime la plus forte demande est située au-dessous de la courbe de la BSBE ξ_1 .

CONCLUSION

Les différentes propositions formalisées de gestion des ressources en eau communes aux israéliens et aux palestiniens s'inspirent de la logique coasienne. Elles suggèrent la définition de droits de propriété sur les ressources ainsi que la mise en place d'un marché d'échange de ces droits. Les auteurs de ces propositions s'appuient sur des expériences nationales de marchés de droits. Dans notre cadre d'analyse, ces propositions se heurtent à la souveraineté des Etats et l'absence d'autorité coercitive. En effet, il apparaît dans toutes ces expériences, que l'Etat joue un rôle décisif dans la définition des droits de propriétés sur les ressources.

Les recherches en science politique portant sur les conflits et la coopération pour la gestion des cours d'eau internationaux mettent en exergue un certain nombre d'entraves à la coopération. Parmi ces entraves, nous avons relevé celle de la difficulté des Etats à adhérer à une gestion coopérative des cours d'eau internationaux en raison de la perte de souveraineté que peut impliquer cette coopération.

En outre, la présence d'externalités négatives, dans la consommation des ressources en eau, et positives, dans l'amélioration de la qualité de la ressource, posent le problème de l'équité dans le partage de ces externalités.

Notre proposition, celle des Etats participant au financement d'un BPI chargé de la gestion des ressources à l'échelle du bassin versant, et le partage sériel du coût de financement du BPI, apporte une solution à la question de la souveraineté de la politique nationale de ces derniers. Chaque Etat reçoit la quantité d'eau dont il a besoin en contrepartie d'une allocation de coût. Il reste libre de sa politique nationale de régulation de l'eau en raison de l'absence d'externalités négatives. L'équilibre budgétaire évite toutes les difficultés politiques inhérentes aux transferts entre les deux Etats.

En outre, les allocations des Etats satisfont aux bornes inférieures et supérieures au bien-être de Etats.

Cette proposition n'est toutefois pas exempte de critiques et de limites. En effet, si elle évite de poser le problème *ex ante* de la définition des droits de propriété sur la ressource, elle suppose néanmoins de résoudre *ex-ante* les difficultés inhérentes à la définition du BPI par les deux Etats.

Par ailleurs, notre hypothèse d'un bien « eau » homogène, i.e. identique dans les deux secteurs agricole et urbain est critiquable. Le coût de production de l'eau à destination de l'usage agricole est inférieur à celui à destination de la consommation domestique, justifiant un prix de l'eau à l'irrigation inférieur à celui de l'autre secteur. Dans ces conditions, il serait intéressant et opportun d'amender notre fonction de coût afin de distinguer deux biens différents, pour rendre notre formalisation plus en accord avec les faits empiriques.

De même, l'hypothèse d'une fonction de coût totalement convexe, peut également être remise en cause. En effet, il serait plus exact de supposer que le coût de la production des premières unités est à rendements d'échelle constants, et ce n'est qu'à l'épuisement des sources conventionnelles d'approvisionnement en eau que le coût marginal de production devient croissant. Une fonction de coût, à coût marginal constant dans un premier temps, puis croissant dans un second temps, permettrait de rendre compte de la rareté des réserves d'eau existantes.

Annexes

LE MODELE

La fonction d'utilité :

$$u_i(x_i, y_i) = \left(\frac{a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}{b_i d_i} \right) y_i - x_i$$

Première étape du jeu

Programme de chaque Etat à la première étape du jeu :

$$\max_{y_i} \left\{ u_i(x_i, y_i) = \left(\frac{a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}{b_i d_i} \right) y_i - x_i \right\}$$

$$S/C \quad x_i = \frac{c(y_i)}{2}$$

Les conditions de premier ordre : $\tilde{y}_i / \frac{\partial u_i}{\partial y} = 0$,

$$\frac{\partial u_i(x_i, y_i)}{\partial y} = \frac{1}{2} \frac{2a_i d_i - 2d_i p_i^U + 2b_i c_i - 2b_i p_i^A - b_i d_i \beta y^{(\beta-1)}}{b_i d_i} = 0$$

Solutions de la première étape du jeu :

$$\tilde{y}_i = e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{2a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}{\beta b_i d_i} \right)}{\beta - 1} \right)} = e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{2\theta_i(p_i^U, p_i^A)}{\beta} \right)}{(\beta - 1)} \right)}$$

$$\tilde{x}_i = \frac{1}{2} e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{2a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}{\beta b_i d_i} \right)}{\beta - 1} \right)^\beta} = \frac{1}{2} e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{2\theta_i(p_i^U, p_i^A)}{\beta} \right)}{(\beta - 1)} \right)^\beta}$$

Caractérisation du point G : Importance relative du secteur agricole

$$q^A(p) = q^U(p) \Leftrightarrow \frac{a_i - p_i^U}{b_i} = \frac{c_i - p_i^A}{d_i} \Leftrightarrow p^A = p^U = p_G = \frac{(b_i c_i - a_i d_i)}{(b_i - d_i)}$$

$$p_G = 0 \Leftrightarrow (b_i c_i - a_i d_i) = 0 \Leftrightarrow b_i c_i = a_i d_i \Leftrightarrow b_i = \frac{a_i d_i}{c_i}$$

Les deux courbes de demande se croisent dans le cadran positif des axes lorsque :

$$b_i > \frac{a_i d_i}{c_i} \Rightarrow -\frac{1}{b_i} > -\frac{c_i}{a_i d_i} \Rightarrow \frac{\partial q_i^U}{\partial p_i^U} > \frac{c_i}{a_i} \frac{\partial q_i^A}{\partial p_i^A}.$$

Ce point d'intersection est d'autant plus situé au-dessus de l'axe que l'écart entre les pentes des courbes de demande se creuse. A élasticité de la demande urbaine constante, et à prix constant, le poids du secteur agricole est une fonction croissante de l'élasticité de sa demande.

Demande de BPI et politique hydrique nationale (p_i^U, p_i^A) d'un Etat :

Par rapport à $p_i^U /$

$$\frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{d_i e^{\left(\frac{\ln \left(2 \frac{a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}{\beta b_i d_i} \right)}{\beta - 1} \right)}}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)} \Leftrightarrow \frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{d_i e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{2\theta_i(p_i^U, p_i^A)}{\beta} \right)}{(\beta - 1)} \right)}}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)^2}$$

$$\frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{d_i \tilde{y}_i}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)} \Leftrightarrow \frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{1}{b_i} \frac{\tilde{y}_i}{\theta_i (\beta - 1)}$$

Par rapport à $p_i^A /$

$$\frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{b_i e^{\left(\frac{\ln \left(2 \frac{a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}{\beta b_i d_i} \right)}{\beta - 1} \right)}}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)} \Leftrightarrow \frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{b_i e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{2\theta_i(p_i^U, p_i^A)}{\beta} \right)}{(\beta - 1)} \right)}}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)^2}$$

$$\frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{b_i \tilde{y}_i}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)} \Leftrightarrow \frac{\partial \tilde{y}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{1}{d_i} \frac{\tilde{y}_i}{\theta_i (\beta - 1)}$$

Allocation de coût du BPI et politique hydrique nationale (p_i^U, p_i^A) d'un Etat :

$$\frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{1}{2} \frac{\beta d_i \left(e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{2^{a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}}{\beta b_i d_i} \right)}{\beta - 1} \right)} \right)^\beta}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)} \Leftrightarrow \frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{1}{2} \frac{\beta d_i (\tilde{y}_i)^\beta}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)}$$

En remplaçant $\tilde{x}_i = \frac{c(y_i)}{2} = \frac{(\tilde{y}_i)^\beta}{2}$ dans l'expression précédente, on obtient :

$$\frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial p_i^U} = -\frac{1}{b_i} \frac{\beta \tilde{x}_i}{\theta_i (\beta - 1)}$$

$$\frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{1}{2} \frac{\beta b_i \left(e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{2^{a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A}}{\alpha \beta b_i d_i} \right)}{\beta - 1} \right)} \right)^\beta}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)} \Leftrightarrow \frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{1}{2} \frac{\beta b_i (\tilde{y}_i)^\beta}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta - 1)}$$

$$\frac{\partial \tilde{x}_i}{\partial p_i^A} = -\frac{1}{d_i} \frac{\beta \tilde{x}_i}{\theta_i (\beta - 1)}$$

Systématiquement, la sensibilité de la demande de BPI $\tilde{y}_i$ et de l'allocation de coût $\tilde{x}_i$ est plus forte pour une variation du prix de l'eau agricole. En effet, les expressions se différencient par les coefficients multiplicateurs b_i et d_i . La demande agricole étant plus élastique que la demande urbaine, par conséquent $\frac{1}{b_i} < \frac{1}{d_i}$ et $b_i > d_i$.

Deuxième étape du jeu

Programme de I à la seconde étape du jeu :

$$\max_{y_I} \left\{ u_I(x_I, y_I) = \left(\frac{a_I d_I - d_I p_I^U + b_I c_I - b_I p_I^A}{b_I d_I} \right) y_I - x_I \right\}$$

$$S/C \quad \begin{cases} x_I = c(y_I) - \frac{c(y_p^*)}{2} \\ y_I > y_p^* \end{cases}$$

Les conditions de premier ordre $y_I^* / \frac{\partial u_I}{\partial y_I} = 0$

$$\frac{\partial u_I(x_I, y_I)}{\partial y_I} = \frac{a_I d_I - d_I p_I^U + b_I c_I - b_I p_I^A - b_I d_I}{b_I d_I} - \frac{\beta y_I^\beta}{y} = 0$$

Solutions de la deuxième étape du jeu :

$$y_I^* = e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{\theta_I(p_I^U, p_I^A)}{\beta} \right)}{(\beta-1)} \right)} \quad x_I^* = e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{\theta_I(p_I^U, p_I^A)}{\beta} \right)}{(\beta-1)} \right)^\beta} - \frac{1}{2} e^{\left(\frac{\ln \left(\frac{\theta_p(p_p^U, p_p^A)}{\beta} \right)}{(\beta-1)} \right)^\beta} = (y_I^*)^\beta - \frac{1}{2} (y_p^*)^\beta$$

Scénario 1 : P subventionne ses agriculteurs

Interprétation en termes de sentier d'expansion

$$\frac{1}{\theta_i(p_i^U, p_i^A)} = \frac{b_i d_i}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)} \text{ en remplaçant cette expression dans l'équation}$$

suivante :

$$\frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^A} = -\frac{1}{2} \frac{\beta b_p (y_p^*)^\beta}{(a_p d_p - d_p p_p^U + b_p c_p - b_p p_p^A)(\beta-1)}. \text{ Celle-ci s'écrit,}$$

$$\frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^A} = -\frac{(y_p^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{d_p \theta_p}.$$

Cette expression s'interprète de la façon suivante :

$\frac{(y_p^*)^\beta}{2}$ donne le chemin d'expansion des allocations de coût de P, tandis que $\frac{1}{d_p \theta_p}$ exprime la vitesse de déplacement le long du sentier d'expansion. La vitesse de déplacement, i.e. l'accroissement de coût est d'autant plus importante que la demande nationale en eau agricole est élastique $\frac{1}{d_p}$.

Interprétation en termes d'élasticité

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^A} &= -\frac{(y_p^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)\theta_p d_p} a & \Leftrightarrow & \frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^A} = x_p^* \frac{\beta}{(\beta-1)} \left(-\frac{1}{d_p \theta_p} \right) \text{ or} \\ \left(-\frac{1}{d_p \theta_p} \right) &= \frac{\partial Q_p}{\partial p_p^A} \frac{1}{Q_p^A} = \frac{\partial Q_p}{\partial p_p^A} \frac{p_p^A}{Q_p^A} \frac{1}{p_p^A} = \frac{1}{p_p^A} e_{Q_p / p_p^A}, & \text{par conséquent} \\ \Leftrightarrow \frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^A} &= x_p^* \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{p_p^A} e_{Q_p / p_p^A} & \Leftrightarrow & \frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^A} \frac{p_p^A}{x_p^*} = \frac{\beta}{(\beta-1)} e_{Q_p / p_p^A} \end{aligned}$$

Exprimé en termes d'élasticité : $e_{x_p^* / p_p^A} = \frac{\beta}{(\beta-1)} e_{Q_p / p_p^A}$. Ce qui signifie que la variation de (l'élasticité) de l'allocation de coût par rapport au prix national est proportionnelle à l'élasticité-prix de la demande d'eau.

P subventionne ses urbains

Nous occultons les démonstrations qui sont identiques à celle d'une variation du prix de l'eau aux agriculteurs.

Interprétation en termes de sentier d'expansion : $\frac{\partial x_p^*}{\partial p_p^U} = -\frac{(y_p^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{b_p \theta_p}$

Expression en termes d'élasticité : $e_{x_p^* / p_p^U} = \frac{\beta}{(\beta-1)} e_{Q_p / p_p^U}$.

Répercussion sur I :

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_P^A} = \frac{(y_P^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{d_P \theta_P}$$

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_P^U} = \frac{(y_P^*)^\beta}{2} \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{b_P \theta_P}$$

Scénario 2 : I subventionne ses agriculteurs**Interprétation en termes de sentier d'expansion**

$$\frac{1}{\theta_i(p_i^U, p_i^A)} = \frac{b_i d_i}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)} \text{ en remplaçant cette expression dans l'équation}$$

suivante :

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} = - \frac{\beta b_i (y_i^*)^\beta}{(a_i d_i - d_i p_i^U + b_i c_i - b_i p_i^A)(\beta-1)}$$

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} = -(y_i^*)^\beta \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{d_i \theta_i}.$$

Cette expression s'interprète de la façon suivante :

$(y_i^*)^\beta$ donne le chemin d'expansion des allocations de coût de I, tandis que $\frac{1}{d_i \theta_i}$ exprime

la vitesse de déplacement le long du sentier d'expansion. I paye donc systématiquement la totalité du coût incrémental de la production supplémentaire qui lui incombe. La vitesse de déplacement, i.e. l'accroissement de coût, est d'autant plus importante que la demande nationale en eau Agricole est élastique $\frac{1}{d_i}$.

Interprétation en termes d'élasticité

$$x_I^* = c(y_I^*) - x_P^* \Rightarrow c(y_I^*) = x_I^* + x_P^*$$

$$\frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} = -c(y_I^*) \frac{\beta}{(\beta-1) \theta_i d_i} \Leftrightarrow \frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} = (x_I^* + x_P^*) \frac{\beta}{(\beta-1)} \left(-\frac{1}{d_i \theta_i} \right)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} = x_I^* \frac{\beta}{(\beta-1)} \left(-\frac{1}{d_i \theta_i} \right) + x_P^* \frac{\beta}{(\beta-1)} \left(-\frac{1}{d_i \theta_i} \right).$$

Par ailleurs,

$$\begin{aligned}
 \left(-\frac{1}{d_I \theta_I} \right) &= \frac{\partial Q_I}{\partial p_I^A} \frac{1}{Q_I} = \frac{\partial Q_I}{\partial p_I^A} \frac{p_I^A}{Q_I} \frac{1}{p_I^A} = \frac{1}{p_I^A} e_{Q_I / p_I^A} \quad \text{par conséquent} \\
 &\Leftrightarrow \frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} = x_I^* \frac{\beta}{(\beta-1)} \left(\frac{1}{p_I^A} e_{Q_I / p_I^A} \right) + x_P^* \frac{\beta}{(\beta-1)} \left(\frac{1}{p_I^A} e_{Q_I / p_I^A} \right) \\
 &\Leftrightarrow \frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} \frac{p_I^A}{x_I^*} = \frac{p_I^A}{x_I^*} x_I^* \frac{\beta}{(\beta-1)} \left(\frac{1}{p_I^A} e_{Q_I / p_I^A} \right) + \frac{p_I^A}{x_I^*} x_P^* \frac{\beta}{(\beta-1)} \left(\frac{1}{p_I^A} e_{Q_I / p_I^A} \right) \\
 &\Leftrightarrow \frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^A} \frac{p_I^A}{x_I^*} = \frac{\beta}{(\beta-1)} (e_{Q_I / p_I^A}) + \frac{x_P^*}{x_I^*} \frac{\beta}{(\beta-1)} (e_{Q_I / p_I^A})
 \end{aligned}$$

Exprimé en termes d'élasticité $e_{x_I^* / p_I^A} = \frac{\beta}{(\beta-1)} (e_{Q_I / p_I^A}) \left(1 + \frac{x_P^*}{x_I^*} \right)$. Ce qui signifie que l'élasticité du coût du BPI pour l'Etat I par rapport au prix national est proportionnelle à l'élasticité-prix de la demande d'eau.

I subventionne ses urbains

Nous occultons les démonstrations qui sont identiques à celle d'une variation du prix de l'eau payé par les agriculteurs.

Interprétation en termes de sentier d'expansion : $\frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^U} = - (y_I^*)^\beta \frac{\beta}{(\beta-1)} \frac{1}{b_I \theta_I}$

Interprétation en terme de coût marginal : $\frac{\partial x_I^*}{\partial p_I^U} = -c'(y_I^*) \frac{y_I^*}{(\beta-1) b_I \theta_I}$

Expression en termes d'élasticité : $e_{x_I^* / p_I^U} = \frac{\beta}{(\beta-1)} (e_{Q_I / p_I^U}) \left(1 + \frac{x_P^*}{x_I^*} \right)$.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Notre conclusion s'articulera autour de deux points. Le premier porte sur la gestion des ressources en eau transfrontalières et le second est une mise en perspective de la problématique du partage de coût dans la théorie économique.

Sur la gestion des ressources en eau transfrontalières

Nous nous sommes intéressés dans cette thèse à la gestion et au partage des ressources en eau transfrontalières, avec comme cas d'application le bassin versant du Jourdain. Les solutions traditionnelles relevant de la théorie des externalités, à savoir la fiscalité et les marchés de droits, posent deux problèmes. Le premier est normatif et le second est positif.

Un problème normatif : l'équité

D'un point de vue normatif, ces solutions posent le problème de l'équité, dans le partage des ressources ou dans le partage de la rente de l'utilisation de la ressource. La question de l'équité se pose soit *ex ante* au moment de l'allocation initiale des droits de propriété sur les ressources en eau, soit *ex post* lors de la redistribution des revenus de la rente. Elle se pose également, soit directement lors de la définition d'un critère de partage des ressources, soit indirectement par le financement des projets.

Une contrainte positive : la souveraineté

D'un point de vue positif, la mise en œuvre de ces solutions se heurte à l'absence d'une autorité supranationale, i.e. d'un pouvoir coercitif. La souveraineté, limitée et illimitée, est le facteur le plus fermement évoqué par les Etats pour justifier une exploitation anarchique ou revendiquer des droits de propriété sur ces ressources.

Notre proposition : propriété commune et BPI

Nous proposons une alternative aux marchés de droits qui constitue la solution privilégiée dans la littérature. Les ressources en eau transfrontalières sont une propriété commune et indivisible aux Etats concernés, en l'occurrence I et P. L'exploitation et la gestion de ces ressources ont des caractéristiques de bien public.

Nous définissons les activités d'exploitation, de gestion, de production et de distribution des ressources en eau comme un Bien Public International, et ces activités sont déléguées à une agence internationale de l'eau.

L'équité des bornes individuelles au bien-être

L'équité se pose dans le partage des coûts du BPI. *"A défaut de pouvoir déterminer une allocation équitable des ressources ou du partage des efforts pour la mobilisation de la ressource, il serait pertinent d'éliminer les allocations qui ne sont pas équitables"* [Moulin 2002]. Les axiomes d'uniformité des externalités de préférence (UPE) et d'uniformité des externalités de groupe (UGE) à l'origine de la théorie de bornes individuelles au bien-être, procèdent de ce raisonnement.

La souveraineté

Celle-ci a deux composantes.

La première est celle qui consiste à ce que la démarche des Etats soit une démarche volontaire. Cette démarche correspond au respect de la rationalité individuelle d'un Etat. La borne inférieure au bien-être, correspondant précisément au test du Stand Alone, garantit que les allocations des Etats satisfont à la Rationalité Individuelle.

La seconde composante de la souveraineté tient au fait que celle-ci doit être acceptée par le ou les autres Etats partenaires à la coopération pour la gestion commune du BPI. Nous supposons que la souveraineté d'un Etat sera admise, acceptée et respectée par l'autre Etat, et donc qu'un Etat est souverain, lorsque toute politique nationale conduisant à

un accroissement de la demande en eau ne génère aucune externalité négative pour l'autre Etat.

Nous avons montré dans cette thèse que le partage de coût sériel du BPI satisfait aux exigences d'équité des axiomes d'uniformité des préférences et à la souveraineté des Etats.

La mise en perspective de la littérature de partage de coût

En conclusion de ce travail, il est également possible de mettre en perspective les travaux théoriques des mécanismes de partage de coût dans l'articulation entre la théorie du choix social, la théorie de l'équité et l'économie publique.

Les procédures de partage de coût peuvent se situer dans la lignée de la théorie de la taxation optimale, et, plus précisément, dans les récents développements en économie publique et la tentative de rapprochement [Fleurbaey 2000, Maniquet 1999] entre la théorie du choix social et la théorie de l'équité.

Les restrictions de l'environnement arrowien dans la théorie du choix social

L'objet de la théorie du choix social est d'élaborer des procédures de classement complet des états sociaux envisageables, ou de choix collectifs, dans un cadre de préférences individuelles ordinales et donc non comparables. En d'autres termes, comment ranger l'ensemble des alternatives en fonction des préférences des agents concernés par ce choix ? Arrow propose quatre propriétés qu'une fonction de choix social doit satisfaire. La première propriété est celle de l'efficacité (OP), la deuxième propriété est celle d'un domaine de préférence non restreint (DNR), qui stipule que tous les profils possibles concevables sont admis, la troisième est l'exclusion de la présence d'un dictateur (ND) et la quatrième est celle de l'indépendance des alternatives non pertinentes (IANP), qui requiert que le rangement social de deux alternatives soit indépendant des préférences des agents vis-à-vis des autres alternatives.

La démonstration d'Arrow prouve qu'il n'existe pas de fonction de préférences sociales qui satisfasse à ces quatre propriétés. Ainsi, les fonctions de la règle de la majorité et celle de l'unanimité échouent en raison de l'intransitivité, et ne donnent pas de préordre sur l'ensemble des réalisables. La règle de Borda, qui consiste à classer les alternatives en

fonction des points qui leur ont été attribués par les agents, échoue également. Le classement des alternatives obtenu viole la propriété IANP.

La place de la théorie de l'équité dans l'économie normative

La théorie de l'équité se distingue de la théorie du choix social par quatre points [Maniquet 1999]. Premièrement, la théorie de l'équité requiert une information détaillée concernant le contenu économique des alternatives. Deuxièmement, elle ne vise pas à obtenir un classement complet de ces dernières puisqu'elle se limite à l'étude des règles d'allocation. Troisièmement, le domaine des préférences n'est pas restreint. Et finalement elle abandonne la propriété d'IANP. Cet abandon est justifié par le fait que celui-ci n'est pas pertinent pour l'étude de l'équité en environnement économique, dans la mesure où la restriction des préférences à des ensembles continus, monotones et convexe est fondée empiriquement. Par conséquent, les deux dernières différences sont liées à la première, à savoir, l'environnement informationnel. Il conviendrait de rapprocher les méthodes de la théorie de l'équité de celle du choix social pour lui faire produire des résultats pertinents en second rang [Fleurbaey 2000].

Eu égard à la propriété DNR, le modèle d'Arrow ne peut être considéré comme un modèle général. Il s'applique uniquement aux choix collectifs dans les environnements non économiques.

Taxation optimale et tentative de rapprochement de la théorie du choix social

L'approche traditionnelle de la taxation optimale propose de rechercher les allocations efficaces qui satisfont aux critères d'équité retenus. La théorie de la taxation optimale s'est développée de façon indépendante de la précédente. Les liens entre l'économie publique et la théorie de l'équité sont presque inexistants. La raison à cela réside dans le fait que la théorie de l'équité est ordinale et n'a pas pour objet les comparaisons interpersonnelles, tandis que l'économie publique veut obtenir un classement complet de l'ensemble des alternatives. Fleurbaey [2000] défend l'idée selon laquelle ces deux approches devraient progresser en étroite collaboration. *"A la théorie du choix social d'étudier ces questions [d'éthique] pour définir des objectifs sociaux appropriés, que la théorie de la taxation optimale peut ensuite adopter pour rechercher les institutions optimales de second rang"*.

Pour mener à bien ce rapprochement, l'auteur dresse trois pistes de recherche pour permettre à la première de fournir de nouveaux outils à la seconde.

La première piste consiste à rechercher la meilleure définition du bien-être individuel qui puisse donner lieu à des comparaisons interpersonnelles.

La deuxième propose de définir une fonction de bien-être ordinale qui détermine pour chaque économie un pré-ordre complet sur les allocations réalisables et non réalisables, et donc d'abandonner l'IANP. Une telle fonction n'autorise aucune comparaison interpersonnelle directe d'utilité.

La troisième voie de recherche est celle à laquelle se rattachent les mécanismes de partage de coût. *"Il s'agit de demander à la théorie de l'équité, spécialisée dans l'élaboration de règles d'allocations qui déterminent les optima sociaux, d'examiner s'il est possible de définir d'emblée des règles d'allocation de second rang. Cela supposerait de définir des notions d'équité qui soient compatibles avec les contraintes d'incitation inhérentes au contexte de second rang. Il existe déjà une branche de la théorie de l'équité qui concerne le second rang, à savoir la théorie de partage de coût, le cost sharing"* [Fleurbaey 2000, p.7].

C'est à cette démarche que fait également référence Thomson [2001] qui, parmi les problèmes que doivent traiter les modèles de l'analyse axiomatique, cite le *cost sharing* et la taxation optimale⁷⁷.

Critique du caractère abstrait de l'environnement arrovien

Une des critiques faite au cadre théorique de l'environnement arrovien, est son caractère très abstrait inhérent à un environnement trop large et pauvre en information. Moulin et Thompson [1997] et Thomson [2001] opposent la démarche de l'analyse axiomatique de la juste allocation des ressources à celle de la théorie du choix social.

Les modèles de l'analyse axiomatique de l'allocation des ressources, contrairement à la théorie du choix social, se focalisent sur la recherche de règles d'allocation et non pas sur un pré-ordre complet de l'ensemble des réalisables. Ces modèles ne se situent pas en environnement abstrait, mais tiennent bien compte des structures micro-économiques des problèmes étudiés⁷⁸. Ainsi, sont introduites des données telles que, la nature des biens, publics ou privés, les dotations, les caractéristiques de la production comme les rendements d'échelle.

⁷⁷ "when money has to be raised to cover the cost of a public project, what fraction of his income should each tax-payer be assessed ?" [Thomson 2001, p.328]

⁷⁸ "The models of resources allocation take full account of the micro economic structure of the problems to be solve" [Moulin et Thomson 1997, p.104].

L'objet n'est plus de chercher à définir une allocation optimale en fonction des préférences des agents, mais de déterminer une procédure de partage de coût en fonction des contributions des agents. La procédure en question est un jeu, et le concept d'équité est appliqué à la procédure elle-même plutôt qu'à l'allocation finale qui résulte de l'équilibre du jeu. Cette démarche s'oppose à l'approche traditionnelle de la taxation optimale, par le fait qu'elle s'applique à un petit nombre d'agents. Les concepts d'équité qu'elle utilise s'inspirent du principe général *"à chacun selon sa contribution"* et ne contiennent pas de visée redistributive.

Les auteurs de ce programme de recherche attribuent la séparation de ces deux champs théoriques, économie publique et équité, à la croyance des économistes de l'économie publique en la nécessité de sortir de l'ordinalisme pour obtenir un classement complet des alternatives. A l'origine de cette croyance, la confusion entre *"l'impossibilité d'agréger les préférences ordinales en un rangement complet des allocations et l'impossibilité d'agréger les préférences ordinales en un rangement complet qui satisfasse l'axiome d'indépendance d'Arrow"* [Maniquet 1999 p.805]. En d'autres termes, si la théorie de l'équité obtient de nombreux résultats, c'est parce qu'elle abandonne l'axiome d'IANP, et non pas l'ordinalisme. L'IANP n'étant en général pas justifié dans les modèles d'économie publique.

"Il y a donc place pour de nombreux développements théoriques fondant l'économie publique sur une étude de l'équité dans les problèmes de répartition" [Maniquet 1999 p.805].

BIBLIOGRAPHIE

Adar Z. et Griffin J.M., 1976, *"Uncertainty and the choice of pollution control instruments"*, Journal of environmental economics and management, 3, 178-188.

Anderson E.W., 1994, *"Hydropolitics, conflicts analysis and management"*, International Water Resources Association, VIIIth Congress, Caire.

Andreoni J., 1988, *"Why Free Ride ? Strategies and Learning in Public Goods"*, Journal of Public Economics, 37 n°3, pp.291-304.

Andreoni J., 1989, *"Giving with Impure Altruism : Applications to Charity and Ricardian Equivalence"*, Journal of Political Economics, 97, n°6, pp.1447-1458.

Andreoni J., 1990, *"Impure Altruism and Donations to Public Goods : A Theory of Warm-Glow Giving ?"*, Economic Journal, 100, n°401, pp.464-477.

Andreoni J., 1995a, *"Warm Glow vs. Cold Prickle : The Effect of Positive and Negative Framing on Cooperation in Experiments"*, Quarterly Journal of Economics, 110, n°1, pp.1-21.

Andreoni J., 1995b, *"Cooperation in Public-Goods Experiments : Kindness or Confusion ?"*, American Economic Review, 85, pp.891-904.

Ariel D. et Aaron W., 1994, *"Economic potential and political considerations of regional water trade : The western Middle East example"*, Resource and Energy Economics, 16, pp. 335-356.

Aumann R.J. 1959, *"Acceptable Points in General Cooperative n-Person Game"*, in Kuhn H.W. and Luce R.D. eds., *Contributions to the Theory of Games IV*; Princeton University Press

d'Aspremont C. et Gérard-Varet L.A., 1979, *"Incentives and Incomplete Information"*, Journal of Public Economics, 11, pp. 25-45

Atkinson A.B. et Stiglitz J. E., 1980, *"Lectures on Public Economics"*, Mc Graw-Hill Book Compagny (UK)

Ayres R.U., et Kneese A.N., *"Production, consumption, and externalities"*, American Economic Review, 85, pp.282-297.

Bagnoli M. et Lipman B.L., 1989, *"Provision of Public Goods : Full implenting the core throught private contributions"*, Review of Economic Studies, 56, pp. 583-601

Baland J. M. et Platteau J. P., 1996, *"Halting degradation of Natural Resources"*, Clarendon Press, Oxford.

Ballet J., 2000, *"Altruisme et biens collectifs : une revue de la littérature"*, Revue Economique, 51, n°4, pp.789-811.

Barberà S. et Jackson M., 1991, *"A caracterisation of Strategy-Proof Social Choice Function for Economies with Public Goods"*, Social Choice and Welfare, 11, pp.241-262

Barberà S., 1996, *"Notes on Strategy-Proof Social Choice Functions"*, in Social Choice Re-examined, volume 2, Edited by Kenneth J. Arrow, Amartya Sen and Kotaro Suzumura, for the International Economic Association, pp.26-45.

Barnett A., 1980, *"The Pigouvian tax rule under monopoly"*, American Economic Review, 70, pp.1037-1041.

Barret S., 1994, *"Conflict an Cooperation in Manging International Water Resources"*, Policy Research Working Paper, N° 1303, World Bank

Baumol W.S. et OatesW. E., 1988, *"The theory of Environmental Policy"*, 2ème Ed., Cambridge University Press

Beaumais O. et Schubert K., 1996, *"Les modèles d'équilibre général appliqués à l'environnement : développements récents"*, Revue d'Economie Politique, 106, pp355-380.

Becker N., 1995, *"Value of moving from central planning to the market system : lessons from Israeli water sector"*, Agricultural Economics, 12, pp.11-21.

Bergstrom T.C., Blume L. et Varian H., 1986, *"On The Private Provision of Public Goods"*, Journal of Public Economics, 29, n°3, pp.25-49.

Bergstrom T.C., Blume L. et Varian H., 1992, *"Uniqueness of Nash equilibrium in private provision of public goods. An improved proof"*, Journal of Public Economics, 49, n°3, pp.391-392.

Berk P. et Lipow J., 1994, *"Real and ideal water rights : The prospects for water-rights reform in Israel, Gaza and the West Bank"*, Resource and Energy Economics, 16, pp. 287-301.

Berstein P.M., Montgomery D. W. et Rutherford T. F., 1999, *"Global impacts of the Kyoto agreement : results from the MS-MRT model"*, Resource and Energy Economics, 21, pp.375-413.

Bezzina J., 1998, *"Équité, tarification, Réglementation : Analyse des politiques de Cost Allocation d'une industrie électrique de service public"*, thèse de Doctorat en Sciences Economiques, Université de Montpellier I

Bilodeau M. et Gravel N., (à paraître) , *"Voluntary Provision of a Public Good and Individual Morality"*, Journal of Public Economic.

Blanchard O., Criqui P., Trommetter M. et Viguier L., 2000, *"Au-delà de Kyoto : enjeux d'équité et d'efficacité dans la négociation sur le changement climatique"*, *Economie et Prévision*, (143-144), pp.15-36.

Bordignon M., 1990, *"Was Kant Right ? Voluntary Provision Of Public Goods under the Principle of Unconditionnal Commitment"*, *Economic Notes*, 3, pp. 342-372

Bromley D., 2000, *"Property Regimes and Pricing Regimes in Water Resource Management"* in *The political economy of water pricing reforms*, pp.29-48, edited by Ariel Dinar, Oxford University Press.

Brooks D., 1993, *"Adjusting the flow : Two comments on the Middle East water crisis"*, *Water International*, 18, pp.35-39.

Brown, G.M., 2000, *"Renewable Natural Resource Mangement and Use without Markets"*, *Journal of Economic Literature*, pp.875-914.

Buchanan J. M., 1969, *"External Diseconomies, Corrective Taxes, and Market Structure"*, *American-Economic-Review*, 59, pp. 174-77.

Buchanan J. W. et Stubblebine W., 1962, *"Externality"*, *Economica*, 29, pp. 371-384

Burness H.S. et Quirk J.P., 1979, *"Appropriative water rights and the efficient allocation of ressources"*, *American Economic Review*, 69, pp.25-37.

Castany G., 1982, *"Principes et méthodes de l'hydrogéologie"*, Bordas, Paris

Clarke E. H., 1971, *"Multipart Pricing of Public goods"*, *Public Choice*, 11, pp.17-33

Clément V., 1997, *"Les Théories Egalitaristes Contemporaines de la Justice : Réflexions Méthodologiques et Proposition de Validation Expérimentale"*, thèse de Doctorat en Sciences Economiques, Université de Montpellier I

Coase R. H., 1960, *"The Problem of Social Cost"*, *Journal of law and Economics*, 3, pp. 1-44

Coase R. H., 1974, *"The Lighthouse in Economics"*, *Journal of law and Economics*, 17, pp. 357-376

- Coase R. H., 1988, *"The firm, the market and the Law"*, University of Chicago Press
- Collard D., 1978, *"Altruism and economy : a study in non selfish economics"*, Oxford Martin Robertson.
- Collinge R.A. et McKittrick, 2000, *"Linear Pigouvian taxes and the optimal size of a polluting industry"*, Canadian Journal of Economics, 33, N°4, pp. 1106-1119.
- Collinge R.A. et Oates W., 1982, *"Efficiency in pollution control in the short and long runs : a system of rental emission permits"*, Canadian journal of Economics, pp.346-354.
- Congress of the United States Congressional Budget Office, 2000, *"Who gains and who pays under carbon-allowance trading ? The distributional effects of alternative policy designs"*.
- Cornes R. et Sandler T., 1993, *"The theory of externalities, public goods, and club goods"*, Cambridge University Press.
- Cornes R.C. et Sandler T., 1984, *"The Theory of Public Goods: Non-Nash Behaviour"*, Journal of Public Economics, 23, pp.367-379.
- Cornes R.C. et Sandler T., 1985, *"On the Consistency of Conjectures with Public Goods"*, Journal of Public Economics, 27, n°1, pp.125-129.
- Cornes R.C. et Sandler T., 1986, *"The theory of externalities, public goods, and club goods"*, Cambridge University Press.
- Crooper M. L. et Oates W. E., 1992, *"Environmental Economics : a Survey"*, Journal of Economic Literature, 30, pp.675-740
- Dales J. H., 1968, *"Land, Water and Ownership"*, Canadian journal of Economics, pp.346-354.
- Dales J.H., 1968, *"Pollution property and prices : an essay in policy-making and economics"*, University of Toronto Press
- Dasgupta P., Hammond P. et Maskin E., 1979, *"The Implementation of Social Choice Rules : Some general Results on Incentive Compatibility"*, Review of Economic Studies, p.185-216.
- De Frutos A.M., 1998, *"Decreasing Serial Cost Sharing under Economies of Scale"*, Journal of economic Theory, 79, p.245-275.
- Dearden J.A., 1998, *"Serial Cost Sharing of Excludable Public Goods : General Cost Function"*, Economic Theory, 12, p.189-198.

Deb R. et Razzolini L., 1999, "*Voluntary Cost Sharing for an Excludable Public Projet*", Mathematical Social Sciences, 37, p.123-138.

Demsetz H., 1964, "*The exchange and Enforcement of Property Rights*", Journal of Law and economics, pp.11-26

Demsetz H., 1967, "*Toward a Theory of Property Rights*", American Economic Review, 62, pp.347-359.

Desaigues B., et Point P., 1993, "*Economie du patrimoine naturel : La valorisation des bénéfices de protection de l'environnement*", Ed. Economica

Dinar A. et Donna J. L., 1995, "*Review of Intergrated Approaches to River Basin Planning, development and Management*", Policy Research Working Paper 1446, World Bank, Washington.

Dinar A. et Kilgour D. M., 1995, "*Are Stable Agreements for Sharing International River Waters Now Possible ?*", Policy Research Working Paper 1447 , World Bank, Washington.

Dinar A. et Saleth R. M., 1999, "*Water Challenge and Institutional Response : A cross-Country Perspective*", Policy Research Working Paper 2045, World Bank, Washington.

Dinar A. et Subramanian A., 1997, "*Water Pricing Experiences : an international perspective*" World Bank Technical Paper n°386.

Dinar A. et Tsur Y., 1995, "*Efficiency and Equity Considerations in Pricing and Allocation Irrigation Water*", Policy Research Working Paper 1460, World Bank, Washington.

Dinar A. et Wolf A., 1994, "*Economic potential and political considerations of regional water trade : The western Middle East example*", Resource and Energy Economics, 16, pp.335-356.

Dinar A., 2000, "*The Political Economy of Water Pricing Reforms*" Oxford University Press, pp.1-25

Dinar A., Rosegrant M. W. et Meinzen-Dick R., 1997, "*Water Allocation Mecanisms – Principles and Examples*", Policy Research Working Paper 1779, World Bank, Washington.

Dixit A. et Olson M., 2000, "*Does voluntary participation undermine the Coase Theorem ?*", Journal of Public Economics, 76, pp.309-335.

Downey T.J. et Mitchell B., 1993, *"Middle East Water : Acute or chronic problem"*, Water International, 18, pp.1-4.

Easter W. K. et Hearne R., 1994, *"Water Markets an Decentralized Water Resources Management"*, Working Paper, P94-24, University of Minesota

Eheart J.W., and Lyon R. M., 1983, *"Alternative structures for water rights markets"*, Water Ressource Research, 19, pp.887-894.

Falkenmark M., J. Lunkvist, A.Widstrand, 1990, *"Water scarcity - an ultimate constraint in third world development"*, - Thema V, Report 14, Université de Linköping - Department of water and environmental studies, Suède.

Faucheux S. et Noël, J. F., 1995, *"Economie des ressources naturelles et de l'environnement"*, Paris: A. Colin.

Faulhaber G.R. .et Levinson S.B., 1981,*"Subsidy-Free and Anonymous Equity"*, American economic Review, pp. 1083-1091

Faulhaber G.R., 1975, *"Cross-Subsidization : Pricing in Public Enterrprises"*, American economic Review, 65, pp. 966-977

Feidman E. et Moulin H. 1999, *"Three methods to Share Joint Cost or Surplus"*, Journal of Economic Theory, 87, p.275-312.

Fershtman C. et Nitzan S., 1991,*"Dynamic Voluntary Provision of Public Goods"*, Economic European Review, pp. 1057-1067

Fischerbacher U., Gächter S. et Fehr E., 2001, *"Are people conditionally cooperative? Evidence from a public goods experiment"*, Economics Letters, 71, pp.397-404.

Fishelson G., 1994, *"The water market in Israel : An example for increasing the supply"*, Resource and Energy Economics, 16, pp.321-334.

Fleurbaey, M., 1996,*"Théorie économiques de la Justice"*, Economica

Fleurbaey, M., 2000, *"Du choix Social à la taxation optimale"*, Journées AFSE "Développements Récents en 2conomie Publique et Enjeux Actuels", Marseille, 18-19 mai

Fond Français Pour l'Environnement Mondial, BRL Ingénierie et ANTEA, 1995, Schéma indicatif des gestions des ressources en eau du bassin du Jourdain, rapport de seconde phase, (non publié).

Fraser C. D., 1992, *"The Uniqueness of Nash Equilibrium in the Private Provision of Public goods. An alternative proof"*, Journal of Public Economics, 49, n°3, pp.389-390

Frey F.W., 1993, *"The political context of conflict and cooperation over international rivers basins"*, Water International, 17, pp.144-154.

Giannias D. et Lekakis J.N., 1997, "Policy analysis for an amicable, efficient and sustainable inter-country fresh water resource allocation", Ecological Economics, 21, pp.231-242.

Godard O. et Henry, 1998, *"Les instruments des politiques internationales de l'environnement : la prévention du risque climatique et les mécanismes de permis négociables"*, in Conseil d'Analyse Economique auprès du premier ministre, Paris la documentation française, Coll. des rapports du CAE, pp. 83-174

Godard O., 1999 a, *"Sur l'éthique, l'environnement et l'économie"*, Cahiers de recherche du Laboratoire d'Econométrie de l'Ecole Polytechnique, 513

Godard O., 1999 b, *"Equité et Climat"*, Les Cahiers de Global Chance, 12, pp.8-14

Goulder L.H., Parry I., Williams III., Burtraw D., 1999, *"The Cost-Effectiveness of Alternative Instruments for Environmental Protection in Second-Best Setting"*, Journal of Public Economics, 72, pp.329-360

Green J. et Laffont J.J., 1977, *"Révélation des Préférences pour les Biens Publics : Caractérisation des mécanismes satisfaisants"*, Cahiers du séminaire d'économétrie, CNRS, n°19, p.83-103.

Green J. et Laffont J.J., 1979, *"On Coalition Incentive Compatibility"*, Review of Economic Studies, p.243-254.

Groves T. et Ledyard J., 1977, *"Optimal Allocation of Public Goods: A solution to the 'Free Rider' Problem"*, Econometrica, 45, pp.783-809.

Groves T., 1973, *"Incentive in Teams"*, Econometrica, 41, 617-663

Guibbard A., 1973, *"Manipulating of Voting Schemes : a General Result"*, Econometrica, 41, p.587-601.

Gustafsson B., 1998, "Scope and limits of the market mechanism in environmental management", Ecological Economics, 24, pp.259-274.

Guttman J., 1978, *"Understanding Collective Action: Matching Behavior"*, American Economic Review Papers and Proceedings, 68, pp.251-255.

Hahn R.W. 1984, *"Market power and transferable property rights"*, Quaterly Journal of Economics, pp.753-765,

Hammond P.J., 1979, "*Symposium on Incentive Compatibility : Introduction*", Review of Economic Studies, p.181-184.

Hardin G., 1968, "*The Tragedy of the Commons*", Science, 162, pp.1243-1248.

Harford J.D., 1978, "*Firm behavior under imperfectly Enforceable pollution standards and taxes*", Journal of Environmental Economics and Management, 5, pp.26-43.

Hearne R.R. et Easter K.W., 1997, "*The economic and financial gains from water markets in Chile*", Agricultural Economics, 15, pp.187-199.

Henry C., 1990, "*Efficacité Economique et Impératif Ethique*", Revue Economique, 41, pp.195-214

Hoel M., 1997, "*Coordination of Environnemental Policy for Transboundary Environmental Problem ?*", Journal of Public Economics, 66, pp.199-224

Howe C., Schumeier D.R., Shaw Jr. W.D., 1986, "*Innovative approach to water allocation : the potential for water markets*", Water Resource Research, 22, pp.439-445

Howitt, R.E., 1994, "*Empirical analysis of water market institutions : The 1991 California water market*", Resource and Energy Economics, 16, pp.357-371.

Hurwicz L. et Walker M., 1990, "*On the Generic Nonoptimality of Dominant-Strategy Allocation mechanisms : A general Theorem that includes pure Exchange Economies*", Econometrica, 58, pp. 683-704

Ichiishi T., 1981, "*Super Modularity : Application to convex games and to the greedy algorithm for LP*", Journal of Economic Theory, 25, 283-286.

Issac R.M., Walker J.M. et Williams A.W., 1994, "*Group Size and the Voluntary Provision of Public Goods: Experimental Evidence Utilizing Large Groups*", Journal of Public Economics, 54, n° 1, pp.1-36.

Itaya J et Shimomura K., 2001, "*A dynamic conjectural variations model in the private provision of public goods: a differential game approach*", Journal of Public Economics, 81, pp. 153-172

Itaya J. et Dasgupta D., 1995, "*Dynamics, Consistent Conjectures, and Heterogeneous Agents in the Private Provision of Public Goods*", Public Finance, 50, pp. 371-389

Jackson M. et Moulin H., 1992, "*Implementing a Public Project and Distributing its Costs*", Journal of Economic Theory, 57, pp. 125-140

Kally E., 1986, *"A middle East Water Plan under Peace"*, the Arman Hammer Fund For Economic Cooperation in the Middle East, Tel-Aviv University, cité in Zeitouni et al. 1994

Kanbur R., Sandler T. et Morrison K. M., 1999, *"The Future of Development Assistance : Common Pools and International Public Goods"*, John Hopkins University Press.

Kant E., 1785, *"Fondements de la métaphysique des moeurs"*, Bordas, Paris.

Kaul I., Grunberg I. et Stern M. A., 1999, *"Defining Global Public Goods"*, in, Global Public Goods, pp.2-19, Oxford University Press.

Kaul I., Grunberg I. et Stern M. A., 1999, *"Global Public Goods : Concepts, Policies and Strategies"*, in, Global Public Goods, pp.2-19, Oxford University Press.

Kolm S.C., 1986, *"L'allocation des ressources naturelles et le libéralisme"*, Revue Economique, n°2, pp.207-241.

Koster M., Tijs S. et Borm P., 1998, *"Serial Cost Sharing Methods for Multicommodity Situations"*, Mathematical Social Science, 36, pp. 229-242

Koutsal P., *"Tradable permits in economic theory"*, in Economics of Environmental Policy, Handbook of Environmental and Resource Economics, Edited by Van der Berg J. C.J.M., part 2, 18, pp. 265-264

Kreps D.M., 1990, *"Game Theory and Economic Modelling"*, Oxford University Press, Traduction Française de Guerrien F., Parel V. et This Saint Jean I., 1999.

Laffont J.J., 1975, *"Macroeconomic Constraints, Economic Efficiency and Ethics : an Introduction to Kantian Economics"*, Economica, 42, pp. 430-437.

Laffont J.J., 1988, *"Cours de Théorie Micro-économique"*, Paris, Economica

Ledyard J. et Roberts J., 1974, *"On The Incentive Problem with Public Goods"*, Discussion Paper N°116, Center for Mathematical Studies in Economics and Management Science, Northwestern University, cité in Saifo 1991

LeMarquand, D. G., 1990, *"International development of the Senegal River"*, Water International, vol.15, n°4 pp.223-230

Littlechild S. C. et Owen G., 1973, *"A Simple expression for the Shapley Value in a Special Case"*, Management Science, 20, pp. 370-372

Littlechild S. C., 1970, *"A Game-Theoretic Approach to Public Utility Pricing"*, Western Economic Journal, 8, pp. 162-66.

Loeheman E. et Whinston A., 1974, "*An axiomatic Approach to Cost Allocation for Public Investment*", *Public Finance Quarterly*, 2, pp.236-251

Luce R.D. et Raiffa H., 1957, "*Games and decisions*", N.Y. : Wiley, 1957,

Lyon R. M., 1986, "*Auctions and alternative procedures for allocating transferable permits*", *Journal of Environmental Economics and Management*, pp 129-52.

Mahieu F.R. et Rapoport H., 1998, "*Altruisme, Analyses Economiques*", *Economica*.

Majzoub T., 1997, "*Les Fleuves du Moyen-Orient*", Thèse de doctorat, Faculté de Droit et de Science Politique de Rennes I.

Maniquet F., "*L'Equité en Environnement Economique*", *Revue Economique*, 50, pp.787-810

Mas-Colell A., Whinston M.D. et Green J., 1995, "*Microeconomic Theory*", Oxford University Press.

Maskin E., 1985, "*The Theory of Implementation in Nash Equilibrium : a Survey*", in *Social Goals and Social Organisation*, L. Hurwicz, D. Schmeidler and H. Sonnenschein (eds), Cambridge University Press.

McMillan J., 1979, "*The Free-Rider Problem: A Survey*", *Economic Record*, 55, pp.95-107.

Medena S.G et Zerbe R.O., 2000, "*The Coase Theorem*", *The Encyclopedia of Law and Economics*, vol 1 : *The History and Methodology of Law and Economics*, : Edward Elgar, pp. 836-892

Ministère de l'économie, Direction de la prévision, 1995, note n°c4-95-076, *Gestion des ressources en eau au Moyen Orient*.

Mirman L.J. et Tauman Y., 1981, "*Valeur de Shapley et Répartition Equitable*", *Cahier du séminaire d'économétrie*, N° 23

Montgomery D., 1972, "*Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs*", *Journal of Economic Theory*, 5, pp. 395-418

Moore J.W., 1994, "*Defining national property rights to a common property resource : The case of the west bank aquifers*", *Resource and Energy Economics*, 16, pp. 373-390.

Mougeot M., 1989, "*Economie du Secteur Public*", *Economica*.

Moulin H. et Shenker S., 1992, "*Serial Cost Sharing*", *Econometrica*, vol.60, p.1009-10037.

Moulin H. et Shenker S., 1996, "*Strategyproof of Submodular Access Costs : Budget Balance versus Efficiency*", in *Social Organisation and Mechanism Design*, Proceedings of the Second Francqui Colloquium, 10-11 june, Brussels, Ed. Claude d'Aspremont, p.209-237.

Moulin H. et Shenker S., 2001, "*Strategyproof sharing of submodular costs: budget balance versus efficiency*", *Economic Theory*, 18, pp.511-533.

Moulin H. et Thomson W., 1997, "*Axiomatic Analysis of Resource Allocation Problems*", in *Social Choice Re-examined*, vol.1, Proceeding of the IEA Conference held at Schloss Hernstein, Berndorf, near Vienna, Austria, Edited by Arrow K. J., Sen A. and Suzumara K., pp.101-120

Moulin H., 1981, "*Théorie des Jeux pour l'Economie et la Politique*", Hermann, Paris.

Moulin H., 1988, "*Axioms of Cooperative Decision Making*", *Econometric Society Monograph*.

Moulin H., 1990 a, "*Uniform Externalities, Two Axioms for Fair Allocation*", *Journal of Public economics*, 43, p.305-326.

Moulin H., 1990 b, "*Fair Division under Joint Ownership : Recent results and Open Problems*", *Social Choice and Welfare*, 7, pp. 149-170

Moulin H., 1991, "*Welfare Bounds in the fair Division Problem*", *Journal of Economic Theory*, 54, p.321-337.

Moulin H., 1992, "*Welfare Bounds in the cooperative Production*", *Game and Economic Behavior*, 4, p.373-401.

Moulin H., 1994, "*Serial Cost Sharing of Excludable Public Goods*", *Review of Economic Studies*, 61, p.305-325.

Moulin H., 1995, "*Cooperative Microeconomics : A Game-Theoretic Introduction*", Prentice Hall Harvester Wheatsheaf.

Moulin H., 1996 a, "*Cost Sharing under Increasing Returns : A comparison of simple mechanisms*", *Games and Economic Behavior*, 13 p.225-251.

Moulin H., 1996 b, "*Discussion of Barberà Paper*", in *Social Choice Re-examined*, volume 2, Edited by Kenneth J. Arrow, Amartya Sen and Kotaro Suzumura, for the International Economic Association, p.46-49.

Moulin H., 2002, "*Axiomatic Cost and Surplus Sharing : new directions*", Conférence donnée au Colloque International, *L'économie, une science quantitative ? Enjeux et évolutions d'une science sociale*, organisé par le GREQAM, 28, 29 juin 2002.

- Mozenson , 1986, mimeo ministère des finances israélien, cité in Zeitouni et al. [1994]
- Myerson R.B., 1979, "*Incentives Bargaining*", *Econometrica*, 47, pp. 61-73
- Myerson R.B., 1991, "*Game Theory : Analysis of Conflict*", Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, England
- Myerson R.B., 1999, "*Nash Equilibrium and the History of Economic Theory*", *Journal of Economic Literature*, p.1067-1082.
- Naff T. et Matson R., 1984, "*Water in The Middle East : Conflict or Coopération ?*", Boulder Westview Press
- Nash J., 1950, "*The Bargaining Problem*", *Econometrica*, 18, p.155-162.
- Nash J., 1953, "*Two-person Cooperative Games*", *Econometrica*, 21, p.128-140
- O.C.D.E., 1999, "*Implementing domestic tradable permits for environmental protection*", chapitre 14.
- Olson M., 1978, "*Logique de l'action collective*", Presses Universitaires de France, traduction de "*The Logic of Collective Action, Public Goods and the theory of groups*", 1966 par Levi M.
- Ostrom E., 1990, "*Gouverning the commons : The Evolution of Institutions for Collective Action*", N.Y Cambridge University Press.
- Pearce D. W. et Turner R. K., 1990, "*Economics of Natural Resources and the Environment*", Harvester Wheatsheaf.
- Pearce D., 1999, "*Economic analysis of global environmental issues, international aspects*", in *Handbook of Environmental and Resource Economics* p.488-504.
- Percebois J. 1991, "*Economie des Finances Publiques*", Ed. A.Colin
- Percebois J., 1999, "*L'Apport de la Théorie Economique aux Débats Energétiques*", Cahier de Recherche du Creden, N° 99.11.15
- Pondaven C., 1994, "*Economie des décisions Publiques*", Vuibert.
- Priscoli J.D., 1994, "*Conflict resolution, collaboration and management in international and regional water resources issues*", International Water Resources Association, VIIIth Congress, Caire.

Rose A., Stevens B., 1993, *"The efficiency and equity of marketable permits for CO2 emissions"*, Resources and Energy Economics, vol.15, pp.117-146.

Rosegrant M.W. et Biswanger H.P., 1994, *"Markets in tradable Water Rights Potential for Efficiency gain in developing Country water Resource Allocation"*, World Development, pp. 1613-1625

Saijo T., 1991, *"Incentive Compatibility an Individual Rationality in the Public Good Economy "*, Journal of Economic Theory, 55, p.203-212.

Saliba B.C., 1987, *"Do water markets works ? Markets structures and trade offs in the southern states"*, Water Resource Research, 23, n°7, 1113-1122.

Samet D, Tauman Y. et Zang I., 1984, *"Application of te Aumann-Shapley Prices for Cost Allocation in Transportation Problems"*, Mathematics of Operation Research, 69

Samuelson P.A., 1954, *"The Pure Theory of Public Expenditure"*, Review of Economics and Statistics, 36, pp.387-389.

Sandler T., 1998, *"Global and Regional Public Goods : A Prognosis for Collective Action"*, Fiscal Studies, vol. 19, n°3, pp.221-247.

Satterthwaite M. A., 1975, *"StrategyProofness and Arrow's Conditions : Existence and Correspondance Theorems for Voting Procedures and Social Welfare Function"*, Journal of economic Theory, 10, pp. 198-217

Scarf H., 1967, *"The Core of an n-Person Game"*, Econometrica, 35, pp.50-69.

Sen A. K., 1977 *"Rational Fools : A Critique of the Behavioural Foundations of Economic Theory"*, Philosophy and Public Affairs, 6, pp.317-344.

Shapley L.S., 1971, *"Core of Convex Game"*, International Journal of Game Theory, 1, p.11-26.

Shapley, L.S., 1953, *"A Value for n-person Games"*, in Contribution to the Theory of Game IIH.W. Kuhn et A.W. Tucker, eds. Annals of Mathematics Studies n° 28, Princeton University Press.

Sharkey W.W., 1982, *"The Theory of Natural Monopoly"*, Cambridge University Press.

Shilony Y., 2000, *"Diversity an Ingenuity in Voluntary Collective Action"*, European Journal of Political Economy, 16, pp.429-443

Shubik, 1982, *"Théories des Jeux et Sciences Sociales"*, traduit par Guerrien B. et Ponty N., Ed. Economica

Shuval H.I., 1992, *"Approaches to the resolving the water conflicts between Israel and her neighbors : A regional water for peace plan"*, Water International, 17, pp.133-143.

Shuval H.I., 1996, *"Sustainable water resources versus concepts of food security, water security, water stress for arid countries"*, Atelier du CFWA. Stockholm Environment Institute, New York.

Smets P., 1972, *"Le Principe de la Compensation Réciproque : un Instrument Economique pour la Solution de Certains Problèmes de Pollution Transfrontières"*, O.C.D.E., Direction de l'environnement, Paris

Stavins R.N., 1996, *"Correlated Uncertainty and and Policy Instrument Choice"*, Journal of Environmental Economics and Management, 30, pp. 218-232

Stavins R.N., 1998, *"What can we learn from the grand policy experiment ? Lessons from SO2 allowance trading"*, Journal of Economic Perspectives, 12, n°3, pp.69-88.

Stiglitz J.E., 1999, *"Incentives and Institutions in the Provision of Health Care in developing Countries : Toward an Efficient and Equitable Health Care Strategy"*, IHEA Meeting, Rotterdam

Sugden R., 1982, *"On The Economics of Philanthropy"*, Economic Journal, 92, pp.341-350.

Sugden R., 1984, *"Reciprocity : the Supply of Public Goods through Voluntary Contributions"*, Economic Journal, 94, n°376, pp.772-787.

Sugden R., 1985, *"Consistent Conjectures and Voluntary Contributions to Public Goods: Why the Conventional Theory Does Not Work"*, Journal of Public Economics, 27, n°1, pp.117-124.

Sugden R., 1991, *"Rational Choice : A Survey of Contributions from Economics and Philosophy"*, Economic Journal, 101, pp.751-785.

Téjedo C. et Truchon M., 2001, *"Serial Cost Sharing In Multidimensional Contexts"*, cahier de Recherche du CREFA, N°0108.

Téjedo C., (à paraître), *"Serial Cost Sharing with Concave and Symetric Cost Function"*, Mathematical Social Science.

Téjédo C., et Truchon Michel, 2001, *"Serial Cost Sharing in Multidimensional Contexts"*, Cahier du Centre de Recherche en Economie et Finance Appliquées n°0108

Tekeli S., 1990, *"Turkey seeks reconciliation for the water issue induces by the southeastern Anatolia project"*, Water International, 15, p.206-216.

Thomson W., 2001, "*On the Axiomatic Method and its Recent Applications to Game Theory and Resource Allocation*", *Social Choice and Welfare*, vol.18, pp. 327-386

Turvey R., 1963, "*On Divergences between Social Cost and Private Cost*", *Economica*, pp.309-313

Underdal A., 1998, "*The Politics of International Environmental Management*", Kluwer, Series *Environment, Science and Society*.

Varian H.R., 1994, "*Sequential Contributions to Public Goods*", *Journal of Public Economics*, 53, pp. 165-186

Vickrey W.S., 1961, "*Counterspeculation, Auctions and Competitive Sealed Tenders*", *Journal of Finance*, 16, pp.1-17.

Vlachos E., 1990, "*Water, Peace and Conflict Management*", *Water International*, vol.15, N°4, pp.185-188.

Vlachos E., 1994, "*Transboundary water conflicts and Alternative Dispute Resolution*", International Water Resources Association, VIIIth Congress, Caire.

Von Neumann J. et Morgenstern O., 1944, "*Theory of games and economic behavior*", Princeton University Press.

Weitzman M.L., 1974, "Prices v.s. Quantities", *Review of Economic Studies*, in *The Economics of the Environment*, pp.117-131.

Whittington D. et McClelland E., 1992, "*Opportunities for regional and International cooperation in the Nile basin*", *Water International*, 17, pp.144-154.

Wirl F., 1996, "*Dynamic Voluntary Provision of Public Goods : Extension to nonlinear Strategies*", *European Journal of Political Economy*, 12, pp. 555-560

Wolf A., 1993, "*The Jordan watershed Past attempts at cooperation and lessons for the future*", *Water International*, 18, pp.5-17.

Wolf A., 1995, "*Hydropolitics along the Jordan River*", United Nations University Press.

Wolf A., 1996, "*Middle East Water Conflicts and Directions for Conflict Resolution*", Food, Agriculture, and the Environment Discussion paper 12, International Food Policy Research Institute

Wolfesperger A., 1999, "*Sur l'existence d'une solution kantienne du problème des biens collectifs*", *Revue Economique*, 50, n°4, pp.879-902.

World Bank, 1994, *"Managing Water in the Middle East and North Africa"*, The World Bank, Washington, D.C.

Yaron D., 1994, *"An approach to the problem of water allocation to Israel and the Palestinian entity"*, Resource and Energy Economics, 16, pp. 271-286.

Yaron D., 1997, *"Israël"*, in *"Water Pricing Experiences : an international perspective"* World Bank Technical Paper N°386.

Young H.P., 1985, *"Methods and Principles of Cost Allocation"*, in *Cost Allocation : Methods, Principles, Applications* Edited by H. P. Young, Elsevier Science Publishers, B.V. , North Holland

Young H.P., 1994, *"Equity in Theory and Practice"*, Princeton University Press

Zaccour G., 1988, *"Valeur de Shapley et partage équitable des ressources"*, l'Actualité Economique, Revue d'analyse économique, vol.64, N°1, pp.96-121.

Zajac E.E., 1972, *"Some Preliminary Thoughts on Subsidization"*, Proceedings 1972 Conference on Telecommunications Policy Research

Zarnikau J., 1994, *"Spot market pricing of water resources and efficient means of rationing water during scarcity (water pricing)"*, Resource and Energy Economics, 16, pp. 189-210.

Zarour, H. et Isaac J., 1993, *"Nature's apportionment and the open market : A promising solution to the Arab-Isareli water conflict"*, Water International, 18, pp.40-53.

Zeitouni N., Becker N. et Shechter M., 1994, *"Models of water market mechanisms and an illustrative application to the Middle East"*, Resource and Energy Economics, 16, pp. 303-319.

Zhang Z.X., 1999, *"Should the rules of allocating emissions permits be harmonised ?"*, Ecological Economics, 31, pp.11-18.

Zilberman D. et Lipper L., 1999, *"The economics of water use"*, in Van Den Bergh J.C.J.M. *"Handbook of environmental and resource economics"*, pp.141-158.

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE.....	1
INTRODUCTION GENERALE	4
 CHAPITRE 1 - L'EAU AU PROCHE-ORIENT	
INTRODUCTION	24
SECTION 1 : L'ETAT DES RESSOURCES EN EAU : UN DEFICIT DE L'OFFRE	27
1.1 - BILAN DE L'OFFRE : TROIS SOURCES PRINCIPALES	27
1.1.1 - <i>Le bassin versant du Jourdain : un bassin international</i>	27
1.1.2 - <i>Bilan des eaux superficielles : des ressources communes dégradées</i>	31
1.1.3 - <i>Bilan des eaux souterraines: ressources largement surexploitées</i>	34
1.1.4 - <i>Les ressources en eau non conventionnelles</i>	35
1.1.5 - <i>Le réseau de distribution : le "National Water Carrier" - NWC -</i>	36
1.2 - LES CARACTERISTIQUES DE LA DEMANDE EN EAU	40
1.2.1 - <i>Un secteur agricole qui absorbe les trois quarts des ressources</i>	40
1.2.2 - <i>Une consommation domestique inégale</i>	41
1.2.3 - <i>Projection de la demande</i>	43
SECTION 2 : UNE ALLOCATION INEFFICACE DES RESSOURCES.....	44
2.1 - UN SECTEUR AGRICOLE LARGEMENT SUBVENTIONNE	44
2.2 - UNE ALLOCATION INEFFICACE	47
SECTION 3 : LA COOPERATION : UN IMPERATIF ECONOMIQUE	49
CONCLUSION	54
 CHAPITRE 2 - LA REGULATION DES EXTERNALITES : FISCALITE PIGOUVIENNE VERSUS MARCHE COASIEN	
INTRODUCTION	57
SECTION 1 : EXTERNALITES ET SOLUTIONS THEORIQUES	60
1.1 - EXTERNALITES	60
1.2 - LA SOLUTION PIGOUVIENNE : SOLUTION FISCALE	61
1.3 - A L'ORIGINE DES MARCHES DE DROITS, UNE ALTERNATIVE A LA SOLUTION PIGOUVIENNE.....	64
1.3.1 - <i>Réciprocité du problème des externalités</i>	64
1.3.2 - <i>Taxer ou subventionner : quelles différences ?</i>	65
1.3.3 - <i>Incomplétude de la solution pigouvienne</i>	66
1.3.4 - <i>Que fait-on payer ?</i>	68

1.3.5 - Inefficacité de la taxe à long terme	69
1.3.6 - Imperfection du marché et optimalité de la taxe.....	69
1.4 - SOLUTION COASIIENNE : L'ECOLE DES DROITS DE PROPRIETE	70
1.4.1 - Le "super théorème de Coase"	72
1.4.2 - Dales et les marchés de droits de propriété.....	74
1.5 - COMPARAISON DE LA SOLUTION PIGOUVIENNE ET LE MARCHE DE DROITS EN INCERTITUDE	75
1.5.1 - Incertitude sur le bénéfice marginal de la réduction des externalités	76
1.5.2 - Incertitude sur le coût marginal de réduction des externalités.....	77
CONCLUSION : LA REGULATION PAR LES PRIX, UNE IMPASSE POLITIQUE	80
 SECTION 2 : LES MARCHES DE DROITS	84
2.1 - L'EMERGENCE DES INSTRUMENTS ECONOMIQUES POUR LA REGULATION DES RESSOURCES ENVIRONNEMENTALES	85
2.2 - REGIME DE DROITS DE PROPRIETE ET EFFICACITE ALLOCATIVE	87
2.3 - LES CONSEQUENCES REDISTRIBUTIVES DU MARCHE : LA QUESTION DE L'APPROPRIATION DE LA RENTE.....	90
2.4 - LES FORMALISATIONS DE MARCHES DE DROITS D'USAGE	91
2.4.1 - Le modèle de Zeitouni et al.[1994]	92
2.4.1.1 - L'allocation centralisée : un benchmark.....	92
2.4.1.2 - Le marché de droits sur les pourcentages.....	95
2.4.1.3 - Un marché sur la priorité d'exercice d'option d'achat	96
2.4.2 - Une application des trois scénarii au Proche-Orient	97
2.4.3 - Une proposition sans issue.....	102
2.5 - LES EXPERIENCES NATIONALES DE MARCHES DE DROIT D'USAGE DE L'EAU	104
2.5.1 - L'expérience du Chili	104
2.5.2 - L'expérience californienne	105
2.5.3 - L'expérience australienne	107
2.5.4 - Des résultats mitigés	108
2.5.4.1 - Des évaluations incomplètes	108
2.5.4.2 - Des difficultés politiques non évaluées	110
2.6 - L'EQUITE DANS LE PARTAGE DES RESSOURCES.....	111
2.6.1 - L'équité aux différents étages.....	111
2.6.2 - Le changement climatique : l'équité, une expérimentation grandeur nature	112
2.6.2.1 - La répartition au prorata du nombre d'habitants.	113
2.6.2.2 - La répartition au prorata du PIB.....	115
2.6.2.3 - Une répartition au prorata des émissions d'une année de référence.....	115
2.6.3 - Les critères de partage des ressources en eau internationales : la souveraineté	115
 CONCLUSION	120

CHAPITRE 3 - L'OFFRE D'UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL OU LA PARTICIPATION VOLONTAIRE A L'ACTION COLLECTIVE

SECTION 1 : LA GESTION DES RESSOURCES COMMUNES : UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL 125

SECTION 2 : LES BIENS PUBLICS : CONJECTURE DE NASH ET CONJECTURES NON-NASH 129

2.1 - LES CONDITIONS DE SAMUELSON [1954].....	131
2.2 - EQUILIBRE DE NASH ET INTERPRETATION DE LA CONJECTURE DE NASH.....	133
2.2.1 - <i>L'équilibre de Nash dans la boîte d'Edgeworth</i>	133
2.2.2 - <i>Conjecture de Nash et Anticipations</i>	135
2.3 - LES ANTICIPATIONS NON-NASH : MATCHING ET OFFSETTING [CORNES ET SANDLER 1984].....	141
2.3.1 - <i>Les modèles statiques</i>	141
2.3.1.1 - Matching, ou mimétisme.....	144
2.3.1.2 - Offsetting, réponse inverse ou réponse opposée	145
2.3.1.3 - La critique de Sugden [1985]	147
2.3.2 - <i>Les modèles dynamiques</i>	152

SECTION 3 : LES INTERPRETATIONS DE LA PARTICIPATION VOLONTAIRE A L'ACTION COLLECTIVE 154

3.1 - L'ALTRUISME	154
3.1.1 - <i>Formalisation de la fonction d'utilité d'un altruiste</i>	154
3.1.2 - <i>Les hypothèses du modèle d'altruisme pur à l'origine de l'inefficacité de celui-ci</i>	155
3.2 - LA RATIONALITE KANTIENNE	157
3.2.1 - <i>L'impératif catégorique</i>	157
3.2.2 - <i>Formalisation de la morale Kantienne</i>	158
3.2.3 - <i>Kantisme ordinaire et Kantisme authentique</i>	159
3.2.4 - <i>Le modèle de Bilodeau et Gravel [à paraître]</i>	160
3.2.4.1 - Définition et formalisation d'une maxime.....	160
3.2.4.2 - Formalisation d'une maxime Kantienne.....	161
3.3 - LE RESPECT D'UN PRINCIPE MORAL DE COOPERATION [SUGDEN 1984]	164
3.3.1 - <i>Le principe de réciprocité</i>	165
3.3.2 - <i>Le modèle et ses équilibres</i>	166

SECTION 4 : LES DETERMINANTS DE LA RECIPROCITE : UN MODELE 170

4.1 - LE MODELE	172
4.2 - STATIQUE COMPARATIVE	175
4.2.1 - <i>Réciprocité et niveau critique des richesses R_I^C</i>	175
4.2.2 - <i>Réciprocité et rendement β des contributions</i>	177
4.2.3 - <i>Réciprocité et Intérêt α du bien public</i>	178
4.2.4 - <i>Représentation des courbes d'indifférence dans l'espace (ϵ, q_p)</i>	179
4.3 - CONCLUSION	180

CONCLUSION 182

CHAPITRE 4 - L'EQUITE DANS UNE PROBLEMATIQUE DE PARTAGE DE COUT

INTRODUCTION	186
SECTION 1 : FORMALISATION D'UN JEU DE PARTAGE DE COUT	187
1.1 - FONCTION DE COUT	188
1.2 - LES PREFERENCES DES AGENTS : UTILITES ORDINALES ET UTILITES CARDINALES ...	189
1.3 - LE CONCEPT DU CŒUR COMME SOLUTION D'UN JEU COOPERATIF ET SES DIFFERENTES INTERPRETATIONS	191
1.4 - LE CŒUR ET LE "STAND ALONE COST"	193
1.4.1 - Le "Stand Alone Cost"	193
1.4.2 - Test du Stand Alone et correspondance avec le Cœur d'un jeu de partage de coût	196
1.4.3 - Jeu de partage de coût et jeu de partage de surplus : des jeux symétriques .	197
1.5 - CŒUR VIDE, JEU SUR-ADDITIF	200
1.5.1 - Jeu sur-additif: une condition nécessaire	200
1.5.2 - Famille de coalition balancée : une condition suffisante	200
1.5.3 - Cœur trop large.....	202
1.6 - LA VALEUR DE SHAPLEY (VS)	203
1.6.1 - Une démarche axiomatique.....	203
1.6.2 - Les interprétations de la valeur de Shapley.....	205
1.6.2.1 - Interprétation probabiliste	205
1.6.2.2 - Interprétation en terme de procédure d'arbitrage	206
1.6.3 - Jeux convexes	207
1.6.4 - Les premières utilisations de la valeur de Shapley.....	210
SECTION 2 : LES BORNES INDIVIDUELLES AU BIEN-ETRE	213
2.1 - UNIFORMITE DES EXTERNALITES SUR LES PREFERENCES - "UNIFORM PREFERENCE EXTERNALITIES"- UPE	214
2.2 - UNIFORMITE DES EXTERNALITES DE GROUPE - "UNIFORM GROUP EXTERNALITIES"- UGE	216
2.3 - LES AXIOMES UPE ET UGE DANS LES MODELES DE PRODUCTION COOPERATIVE ...	218
2.3.1.1 – Les modèles d'offre d'un bien collectif.....	219
2.3.1.2 - Les modèles de production de biens privés.....	220
SECTION 3 : PARTAGE DE COUT SERIEL	221
3.1 - LA REGLE DU COUT SERIEL DANS LA PRODUCTION EN COOPERATION DE BIENS PRIVES	221
3.2 - COMPARAISON DE LA TARIFICATION AU COUT SERIEL, AU COUT MOYEN ET AU COUT MARGINAL	224
3.3 - COUT SERIEL ET PRODUCTION DE BIEN COLLECTIF A EXCLUSION.....	230
CONCLUSION	233

CHAPITRE 5 - MECANISMES INCITATIFS : EFFICACITE <i>versus</i> EQUILIBRE BUDGETAIRE ET PARTICIPATION VOLONTAIRE	236
INTRODUCTION	237
SECTION 1 : CONCRETISER UNE FONCTION DE CHOIX SOCIAL	240
1.1 - LA PROBLEMATIQUE	240
1.2 - LA CONCRETISATION D'UNE FONCTION DE CHOIX SOCIAL COMME DETERMINATION DE L'EQUILIBRE DU JEU	243
1.3- CONCEPTS DE SOLUTION ET ROBUSTESSE DES MECANISMES	245
1.3.1 - <i>Deux concepts de concrétisation faible : équilibre de Nash et équilibre Bayésien.....</i>	245
1.3.1.1 - Concrétisation en équilibre de Nash.....	245
1.3.1.2 - Concrétisation en équilibre Bayésien.....	247
1.3.2 - <i>Concrétisation en stratégies dominantes</i>	248
1.4 - RESULTAT D'IMPOSSIBILITE DE GUIBBARD [1973] ET SATTERTHWAITE [1975].....	251
SECTION 2 : LES MECANISMES DE CLARKE-VICKREY-GROVES	253
2.1 - IDENTIFICATION DE LA CLASSE DES MECANISMES INCITATIFS EN STRATEGIES DOMINANTES	255
2.1.1 - <i>Environnement quasi-linéaire</i>	255
2.1.2 - <i>Classe de fonctions de choix social concrétisables en stratégies dominantes.....</i>	256
2.2 - LE MECANISME DU PIVOT POUR LA PRODUCTION D'UN BIEN PUBLIC.....	259
2.3 - LES PROPRIETES DU MECANISME DU PIVOT :	262
2.3.1 - <i>Budget déséquilibré et mécanisme non parétien.....</i>	262
2.3.2 - <i>Robustesse aux manipulations des coalitions -ICG</i>	264
2.3.3 - <i>Rationalité individuelle et participation volontaire</i>	266
2.3.3.1 - La RI et le mécanismes du Pivot.....	266
2.3.3.2 - RI et RIA	267
2.3.4 - <i>Rationalité individuelle et mécanismes Incitatifs.....</i>	269
2.4 - ABANDON DE L'OPTIMUM DE PARETO.....	270
SECTION 3 : LE MECANISME SERIEL D'ALLOCATION DE COUT.....	272
3.1 - LES HYPOTHESES DU MECANISME SERIEL	272
3.2 - LE MECANISME SIMPLE	273
3.3 - LE MECANISME DIRECT	278
3.4 - PROPRIETES DU MECANISME SERIEL	278
SECTION 4 : COMPARAISON DES SURPLUS COLLECTIFS DES MECANISMES DU PIVOT ET DU SERIEL : UN MODELE	280
4.1 - L'OPTIMUM DE PRODUCTION DU BIEN PUBLIC	281
4.2 - L'ALLOCATION DES COUTS PAR LE MECANISME DU PIVOT	282
4.2.1 - <i>Détermination des agents pivots</i>	283
4.2.2 - <i>Projet alternatif en situation hypothétique</i>	285
4.3 - MECANISME SERIEL	286
4.4 - DIFFERENCE DES SURPLUS COLLECTIFS DES DEUX MECANISMES	289

CHAPITRE 6	293
LE MODELE	
INTRODUCTION	294
SECTION 1 : EXPLOITATION DES RESSOURCES EN AUTARCIE	297
1.1 - LA DEMANDE EN EAU D'UN ETAT	297
1.2 - OPTIMUM DE PREMIER RANG	300
SECTION 2 : LE MODELE : LE PARTAGE DU COUT SERIEL DE LA PRODUCTION D'UN BIEN PUBLIC INTERNATIONAL	303
2.1 - FONCTION D'UTILITE	305
2.2 – LE BPI ET L'EAU.....	306
2.3 - LA SOUVERAINETE ET LA POLITIQUE HYDRIQUE NATIONALE.....	307
2.4 - LE JEU :.....	309
2.4.1 - <i>Première étape : détermination du niveau d'utilité d'unanimité</i>	310
2.4.1.1 - Sensibilité de la demande de BPI.....	313
2.4.1.2 - Allocation du coût du BPI et politique de régulation.....	316
2.4.2 - <i>Deuxième étape du jeu</i>	316
2.4.3 - <i>Résultats et discussion de trois scénarii</i>	318
2.4.3.1. - Premier scénario : $x_i < R_i$, réduction du prix de l'eau en P, et déplacement de son équilibre stratégique	321
2.4.3.2 - Deuxième scénario, $x_i < R_i$, I baisse le prix de l'eau à ses consommateurs	326
2.4.3.3. - Troisième scénario : $x_i = R_i$, Politique tarifaire et allocation de coût constante	328
2.4.4 - <i>Les propriétés d'équité de l'équilibre sériel</i>	330
2.4.4.1 - Le test du Stand Alone et la BIBE d'un Etat	331
2.4.4.2 - La borne d'unanimité, BSBE	334
CONCLUSION	335
ANNEXES	337
CONCLUSION GENERALE	344
BIBLIOGRAPHIE.....	351
TABLE DES MATIERES	367

